

ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE
TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO

CÉSAR AUGUSTO CELIS MARÍN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA
2017

ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE
TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO

CÉSAR AUGUSTO CELIS MARÍN

Trabajo de Grado

Ing. CARLOS ANDRÉS MESA MONTOYA
Director Trabajo de Grado

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA
2017

CONTENIDO

	Pág
CAPÍTULO 1	8
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	8
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	9
1.4 ESTRUCTURA DE TRABAJO.....	10
CAPITULO 2. SELECCIÓN DEL BASTIDOR	11
2.1 TIPOS DE BASTIDORES.....	11
2.2 COMPONENTES Y REQUERIMIENTOS PARA LA SELECCIÓN	17
2.3 SELECCIÓN DEL BASTIDOR PARA DISEÑO DEL CHASIS	19
CAPÍTULO 3. PARÁMETROS DIMENSIONALES Y DISTRIBUCIÓN DE SISTEMAS EN EL CHASIS	20
3.1 ELEMENTOS A TRANSPORTAR	21
3.2 DISTRIBUCIÓN Y ASIGNACIÓN DE ESPACIOS PARA EL DISEÑO DEL CHASIS	27
CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL CHASIS	30
4.1 GEOMETRÍA DEL BASTIDOR.....	30
4.2 SOPORTE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	35
4.3 SOPORTE SUBSISTEMA DE SUSPENSIÓN, POTENCIA Y RUEDA MECANUM	36
4.4 SOPORTE SUBSISTEMA DE ELEVACIÓN.....	43
4.5 CUBIERTAS PROTECTORAS.....	44
4.6 PROPUESTA FINAL BASTIDOR	46
CAPITULO 5. SIMULACIÓN MECÁNICA DEL BASTIDOR Y EJES DE ACOPLE POR MEDIO DE ELEMENTOS FINITOS	49
5.1 ANÁLISIS BASTIDOR	50
5.2 ANÁLISIS EJE INFERIOR AMORTIGUADOR	60
5.3 ANÁLISIS EJE SUPERIOR SUSPENSIÓN.....	64
5.4 ANÁLISIS EXTRUSIÓN CILÍNDRICA	69
CONCLUSIONES	75
APORTES.....	77
RECOMENDACIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79
ANEXO A Memorias de calculo	81
ANEXO B Planos de Diseño	82

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Cuadro comparativo de ventajas y desventajas.....	15
Tabla 2. Matriz de decisión	19
Tabla 3. Requerimientos de diseño	20
Tabla 4. Características Técnicas.....	22
Tabla 5. Caracterización motor Lenze g700	23
Tabla 6. Tesla Smart Lithium Ion 18650	24
Tabla 7. Propiedades mecánicas Aleación de Aluminio	54
Tabla 8. Convergencia del bastidor	57
Tabla 9. Propiedades mecánicas acero AISI SAE 4340	61
Tabla 10. Convergencia eje inferior amortiguador	62
Tabla 11. Tabla propiedades acero AISI SAE 6140.....	66
Tabla 12. Convergencia eje superior amortiguador	67
Tabla 13. Convergencia extrusión	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1 Bastidor tipo Columna Vertebral	12
Figura 2 Bastidor tipo H	12
Figura 3 Bastidor tipo X	13
Figura 4. Bastidor perimetral.....	13
Figura 5. Bastidor tipo plataforma	14
Figura 6. Carrocería monocasco.....	14
Figura 7 Componentes Falcon2000S	17
Figura 8. Requerimientos de diseño	21
Figura 9. Ubicación motor PW308C en avión Falcon2000S	22
Figura 10. Motor LENZE g700-p800-2-MCS12D17	24
Figura 11. Batería Tesla Smart Lithium Ion 18650 EV Module	25
Figura 12. Movimiento según la dirección y velocidad angular de las ruedas	26
Figura 13. disposición, dirección de las ruedas Mecanum.....	26
Figura 14. Bastidor con los módulos (plano isométrico)	28
Figura 15. Distribución de los sistemas en los módulos	28
Figura 16. Parales y divisiones del bastidor.....	29
Figura 17. Perfil tipo "U"	31
Figura 18. Perfil Larguero Modificado	31
Figura 19. Frontales.....	32
Figura 20. Travesaño primario	33
Figura 21. Travesaño secundario	34
Figura 22. Configuración bloque de apoyo	34
Figura 23. Bastidor sistema de transporte terrestre	35
Figura 24. Soporte Para baterías Tesla	35
Figura 25. Distribución Sistema de alimentación	36
Figura 26. Amortiguador con muelle Monroe CB0069	37
Figura 27. Sujeción delantera Servomotor.....	37
Figura 28. Anillo de sujeción	38
Figura 29. Sujeción rueda Mecanum	38
Figura 30. Acople principal	39
Figura 31. Soporte SKF Tipo FNL.....	40
Figura 32. Rodamientos de Rótulos opuestos	40
Figura 33. Rodamiento SKF referencia 22216EK.....	41
Figura 34. Subsistema de suspensión	42
Figura 35. Sistema de acoplamiento.....	43

Figura 36. Perforaciones Larguero	44
Figura 37. "C" de apoyo	44
Figura 38. Cubierta superior	45
Figura 39. Cerradura Bafail.....	45
Figura 40. Guarda barro	46
Figura 41. Angulo de apoyo	46
Figura 42. Distribución largueros.	47
Figura 43. Sistema se Transporte Terrestre	48
Figura 44. Malla Larguero	51
Figura 45. malla Frontales y Travesaños	51
Figura 46. Bloque y soporte	52
Figura 47. Malla "C" de apoyo	53
Figura 48. Malla bastidor	53
Figura 49. Soporte bastidor	55
Figura 50. Gravedad en el bastidor.....	55
Figura 51. Distribución Peso Baterías.....	56
Figura 52. Carga amortiguador	57
Figura 53. Grafica de convergencia bastidor	57
Figura 54. Deformación bastidor.....	58
Figura 55. Esfuerzo bastidor	59
Figura 56. Factor de seguridad bastidor	59
Figura 57. Eje inferior amortiguador.....	60
Figura 58. Malla eje inferior amortiguador	60
Figura 59. Soporte eje inferior amortiguador	61
Figura 60. Carga eje inferior amortiguador.	62
Figura 61. Grafica convergencia eje inferior amortiguador	63
Figura 62. Deformación eje inferior amortiguador.....	63
Figura 63. Esfuerzo eje inferior amortiguador	64
Figura 64. Factor de seguridad eje inferior amortiguador	64
Figura 65. Eje superior amortiguador.....	65
Figura 66. Malla eje superior amortiguador	65
Figura 67. Soporte eje superior amortiguador.....	66
Figura 68. Carga eje superior amortiguador	66
Figura 69. Grafica convergencia eje superior amortiguador	67
Figura 70. Deformación eje superior amortiguador.....	68
Figura 71. Esfuerzo eje superior amortiguador	68
Figura 72. Factor de seguridad eje superior amortiguador	69
Figura 73. Acople principal	69
Figura 74. Malla Extrusión Cilíndrica	70

Figura 75. Soporte extrusión.....	70
Figura 76. Carga extrusión	71
Figura 77. Grafica convergencia extrusión	72
Figura 78. Deformación extrusión	73
Figura 79. Esfuerzo extrusión	73
Figura 80. Factor de seguridad extrusión	74

CAPÍTULO 1

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Facultad de Ingeniería Mecánica con el apoyo del grupo de investigación en Procesos de Manufactura y Diseño de Máquina de la Universidad Tecnológica de Pereira, en conjunto con la Universidad de Lorraine y la Escuela Nacional de Ingenieros ENIM (ambas con sede en Francia), se encuentra trabajando en el proyecto colaborativo interinstitucional llamado Factory Futures: “La industria del futuro en el campo aeronáutico”, el cual busca proponer diferentes alternativas a las líneas de fabricación aeronáuticas existentes, que garanticen procesos de fabricación fluidos y flexibles.

Concerniente a la línea de ensamble aeronáutico, los motores tipo turbofan son uno de los dispositivos que mayor cuidado demandan, durante su transporte y acoplamiento final en la estructura del avión. Hoy en día, se utilizan sistemas de transporte aéreo con estructuras fijas y trayectorias de movimientos permanentes, que cumplen con requerimientos físicos y de integridad estructural, pero generan dificultades cuando se requiera de cambios significativos en línea de producción, necesitando la adaptabilidad del sistema de transporte a las variaciones que se puedan presentar. Es por esto que se propone el estudio de un sistema de transporte terrestre que brinde una solución confiable y segura, al acarreo de los diferentes componentes aeronáuticos y que su desempeño sea independiente de las trayectorias de movimiento impuestas por la línea de ensamble.

La alternativa propuesta, requiere el estudio de los diferentes sistemas necesarios en un sistema de transporte terrestre, donde el chasis es uno de los más importantes ya que brinda el soporte y la protección a los módulos de control, almacenamiento de energía y de potencia. Lo anterior requiere una adecuada selección del tipo de morfología a utilizar, ya que debe tener una gran capacidad de almacenamiento de componentes y módulos, sin sacrificar su rigidez y resistencia estructural. Al mismo tiempo, debe estar al nivel técnico de la alternativa de transporte aérea, en cuanto a capacidad de carga y autonomía de trabajo, teniendo en cuenta la variedad y complejidad de los componentes que debe transportar.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El proyecto permitirá que el transporte y la movilización se realice de una manera continua entre las diferentes áreas de trabajo evitando posibles interrupciones en las líneas de producción, cambiando por completo la metodología actual la cual no otorga garantías en la conservación de la integridad de los componentes aeronáuticos y sus alrededores. Este dispondrá de diferentes sistemas que le

permitirán al nuevo medio de transporte terrestre la facilidad de desplazarse de una manera eficaz y eficiente junto con la capacidad de almacenarlos, ya que son necesarios para el correcto funcionamiento y serán los encargados de dar autonomía y adaptabilidad a los posibles cambios que se generan en la producción. todo esto será posible por medio de una estructura metálica que además de que soportará las solicitudes de carga, protegerá dichos sistemas por los que estará compuesto, manteniendo su rigidez y resistencia estructural.

El proyecto Factory Futures persigue un objetivo común, que involucra diferentes áreas del conocimiento de una manera sincronizada y concurrente, que permite la participación y aporte constructivo de todos y cada de las diferentes universidades participantes. El diseño del sistema de transporte terrestre comprende un conjunto de actividades en múltiples campos del conocimiento, entre ellos la mecánica y la electrónica particularmente el diseño mecánico y la robótica, ambas con un enfoque de trabajo colaborativo. Esta diversidad de campos y áreas del conocimiento, integradas en torno a un proyecto interinstitucional, puede interesar a muchos actores para que cooperen en un ambiente interdisciplinario.

En la ejecución del proyecto se considera la vinculación de siete estudiantes de pregrado, para la realización de trabajos de grado en la generación de prototipos virtuales originales de los mecanismos y sistemas del sistema de transporte terrestre, en las varias fases de concepción, modelado, simulación y prototipado virtual.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Seleccionar y diseñar un chasis para un sistema de transporte terrestre para líneas de ensamble aeronáutico.

1.3.1 Objetivos específicos

- Seleccionar el tipo de chasis más adecuado que permita el soporte y protección de los diferentes módulos del sistema de transporte.
- Obtener los parámetros dimensionales del chasis, que permitan una distribución conforme de los diferentes módulos requeridos para el funcionamiento del sistema de transporte.
- Diseñar el chasis seleccionado que cumpla con las diferentes solicitudes de carga, basado en las condiciones de operación del sistema de transporte.
- Validar el diseño del chasis utilizando herramientas computacionales plenamente reconocidas, que garantice un desempeño seguro y confiable bajo condiciones de operación.

- Generar la información técnica del proceso de diseño, con el fin obtener la información necesaria para un futuro proceso de fabricación, contemplando las memorias de cálculo y planos

1.4 ESTRUCTURA DE TRABAJO

El capítulo dos se realizará la selección del bastidor que permitirá cumplir con todas las necesidades y requerimientos establecidos en el proyecto Factory Futures, enfocándose principalmente en hacer parte de un proceso de mejoramiento simple y flexible del transporte de piezas frente a las diferentes líneas de producción.

En el capítulo tres se procede a analizar las características dadas por el estudio realizado en conjunto con el grupo de trabajo de Factory Futures que permitió abarcar cada una de las necesidades que estos objetos requieren como la sujeción, espacio, vías de comunicación entre otras, dando paso a la distribución de los mismos de una manera efectiva, segura y que garantice el buen desempeño de cada uno de estos.

En el capítulo cuatro se realizará el diseño CAD por medio de una herramienta tecnológica del bastidor por medio del cual se hace la distribución de cada uno de los componentes que conformaran a cada uno de los subsistemas y la forma en la que sujetaran a la estructura metálica

Por ultimo en el capítulo cinco una vez terminado la selección y el diseño del bastidor del sistema de transporte terrestre cuya función principal es soportar las cargas, almacenar y proteger los componentes de los subsistemas. Se procede a determinar de cada una de las cargas que actúan sobre el sistema de transporte terrestre y en algunos de los componentes del sistema de acoplamiento. Es necesario aclarar que las cargas suministradas son aproximadas y en algunos casos, son conservativas comparadas con las que se pueden presentar durante su funcionamiento, lo anterior se debe principalmente a que durante el proceso de diseño se trabajó con cargas críticas, máximas y parámetros establecidos por el proyecto Factory Futures [1].

CAPITULO 2. SELECCIÓN DEL BASTIDOR

Como primera medida se debe de realizar una salvedad y aclarar la diferencia entre un bastidor y un chasis, donde el bastidor es una estructura rígida a la cual van acopladas los diversos subsistemas o componentes que lo integran y el chasis es la conformación de los diferentes sistemas entre los cuales está el chasis [2].

Para la selección del bastidor se definirán, cuáles son los tipos más utilizados en los sistemas de transporte y las condiciones de trabajo a las cuales será sometido el sistema, posteriormente con la ayuda de los componentes secundarios que almacenará el bastidor y que conforman el chasis [3], se seleccionará la mejor configuración del bastidor.

2.1 TIPOS DE BASTIDORES

El chasis se puede definir como un ensamble de elementos estructurales que se integran entre sí o al bastidor, brindando soporte a los elementos mecánicos y diferentes sistemas secundarios que permitan el desplazamiento del vehículo.

Los sistemas secundarios o subsistemas como lo son el de accionamiento, suspensión, potencia entre otros, son importantes al momento de seleccionar el tipo de bastidor ya que permite tener en cuenta la disposición del espacio, el modo de sujeción y protección a los diferentes subsistemas y sus respectivos componentes. De igual manera el chasis debe disponer con la capacidad de carga y la superficie que le permita sostener los elementos a transportar.

Existen diferentes tipos de bastidores que permitirán realizar el diseño de un chasis adecuado entre los cuales se pueden encontrar[2]: a) el bastidor tipo X, b) bastidor perimetral, c) bastidor tipo plataforma, d) bastidor tipo H, entre otros. A continuación, se realiza una descripción más detallada para cada una de las configuraciones mencionadas.

2.1.1 Bastidor tipo Columna Vertebral. Este tipo de chasis se basa en una estructura independiente de la carrocería. Se compone de una columna vertebral tubular (generalmente su sección transversal es rectangular) y de unos travesaños dispuestos perpendicularmente, los cuales sirven para sujetar las ruedas delanteras y para ubicar el arco de seguridad que protege al piloto en caso de un volcamiento (ver Figura 1) [2].

Figura 1 Bastidor tipo Columna Vertebral



Fuente:[2]

2.1.2 Bastidor tipo H. El bastidor de escalera consta de dos vigas longitudinales o largueros conectadas por un travesaño múltiple. Generalmente, este tipo de bastidor es simple, versátil, duradero y de bajo costo de fabricación. La ventaja más significativa de este marco es que es adaptable y puede componer un cuerpo grande de diferentes formas y tipos. Cuando está conectado por un miembro transversal, se caracteriza por tener baja rigidez torsional (ver Figura 2) [3].

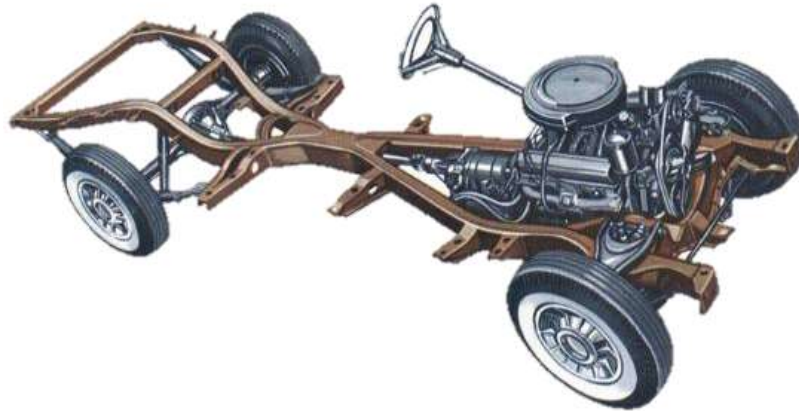
Figura 2 Bastidor tipo H



Fuente: [2]

2.1.3 Bastidor tipo X. El bastidor en X es una combinación de dos tipos de bastidores: marco columna vertebral y bastidor en escalera. Este tipo de bastidor se reduce en el centro, proporcionando al vehículo una estructura más rígida, que está diseñada para contrarrestar los puntos de torsión elevada [3]. El travesaño delantero en este tipo de bastidor suele ser muy robusto, con el propósito de servir para la fijación a los anclajes de las suspensiones delanteras y elementos del motor. (ver Figura 3)

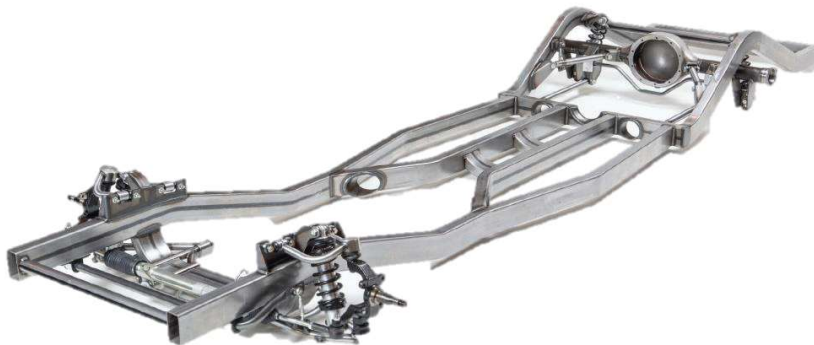
Figura 3 Bastidor tipo X



Fuente:[3]

2.1.4 Bastidor Perimetral . En este tipo de bastidor, los largueros soportan la carrocería del vehículo en su parte más ancha, ofreciendo así una mayor protección en caso de impacto lateral. Presentan una configuración escalonada detrás y delante de las ruedas delanteras y traseras respectivamente. Con esta configuración, el bastidor permite formar una estructura de caja de torsión, que en caso de impacto frontal permite absorber gran parte de la energía generada durante la colisión (ver Figura 4) [3].

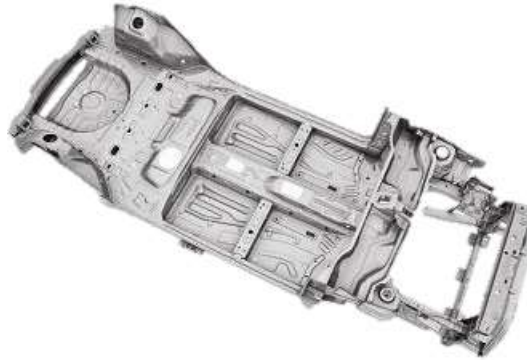
Figura 4. Bastidor perimetral



Fuente: [3]

2.1.5 Bastidor tipo plataforma. Está constituido por un chasis aligerado formado por la unión de varias chapas soldadas, generalmente mediante soldadura por puntos, formando el conjunto una base de rigidez suficiente como para poder soportar los órganos mecánicos y posteriormente también la carrocería del vehículo (ver Figura 5) [3].

Figura 5. Bastidor tipo plataforma



Fuente: [3]

2.1.6 Auto portante o Carrocería monocasco. Este tipo de bastidor se soporta a sí mismo, y es el más utilizado en la actualidad por bajo costo, flexibilidad y reducción de peso. Se ve en vehículos construidos de una sola pieza e incluye el chasis y el habitáculo de componentes dando soporte al motor. Toda la estructura del vehículo forma parte esencial del bastidor. Hace parte del concepto de hacer una estructura metálica envolvente constituida por la unión de elementos de chapa de diferentes formas y espesores, es decir, se construye una caja resistente que se soporta a sí misma y a los elementos mecánicos que se fijan sobre ella (ver Figura 6) [2].

Figura 6. Carrocería monocasco



Fuente: [2]

Como información complementaria a la información técnica antes suministrada para los diferentes tipos de chasis, se realiza un cuadro comparativo de ventajas y desventajas que permitirá seleccionar el modelo que se ajuste a las necesidades establecidas. (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Cuadro comparativo de ventajas y desventajas

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Bastidor en X	Proporciona una mayor rigidez estructural, resistencia a fuerzas de torsión y, al mismo tiempo, permite reducir la altura del coche sin sacrificar espacio.	No están diseñados para soportar fuerzas laterales enormes, por esta razón ofrecen poca protección a los costados.
Bastidor perimetral	Ofrece una gran resistencia, permitiendo transportar cargas elevadas. Elevada rigidez para poder soportar grandes cargas estáticas y dinámicas sin sufrir grandes deformaciones.	Elevado peso en el diseño del vehículo. Posee una baja estabilidad y alto coeficiente aerodinámico (mayor consumo).
Bastidor de plataforma	Debido a la elevada rigidez que proporciona la plataforma en este tipo de bastidor, la carrocería puede ser más ligera, además de poder ser compuesta de numerosos elementos desmontables que facilitan las labores de recambios y sustituciones en caso de desperfectos en alguna parte de la carrocería.	Se vuelve inmanejable en plano e incontrolable en las curvas y al frenar. El chasis puede ser muy pesado.
Bastidor en H o escalera	Alta durabilidad, fácil acceso a los componentes mecánicos, no sufre daños graves en accidentes y bastante sencillo de diseñar y realizar. Gran resistencia, permitiendo transportar cargas elevadas.	Es pesado y además posee menor rigidez torsional que otros tipos diferentes. Tiene la necesidad de que los soportes de suspensión delantera sean muy rígidos, además de incluir algún soporte para dirección (tipo mamparo). Gran aumento del peso del vehículo, baja estabilidad y altos coeficiente aerodinámico.

Continuación de la Tabla 1 Cuadro comparativo de ventajas y desventajas

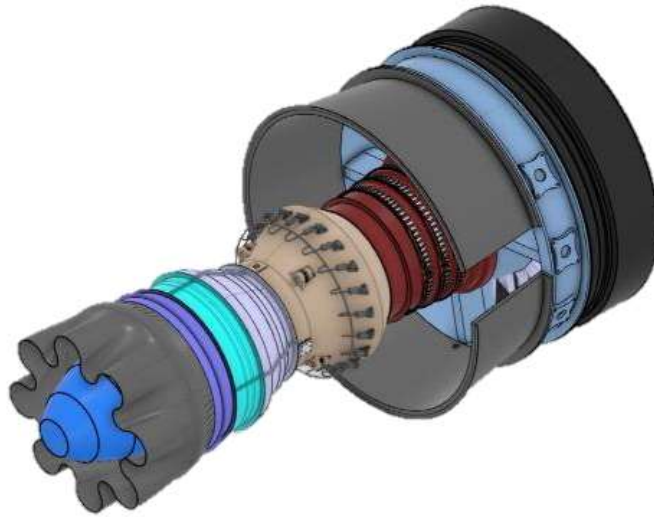
Bastidor columna vertebral	<p>La superestructura de un camión estándar de la concepción tiene que soportar el giro de torsión.</p> <p>Los semiejes tienen un mejor contacto con el suelo cuando se opera fuera de carretera. Esto tiene poca importancia en las carreteras.</p> <p>Las partes vulnerables del eje de accionamiento están cubiertas por un tubo de gran espesor. Todo el sistema es extremadamente fiable. Sin embargo, si se produce un problema, la reparación es más complicado.</p>	<p>se necesita los ejes con tracción total, el costo beneficio se convierte a favor de chasis.</p> <p>El chasis columna vertebral es más pesado para una rigidez a la torsión dado que es monocuerpo.</p> <p>El chasis no proporciona ninguna protección contra impactos laterales.</p>
Auto portante	<p>Las carrocerías de este tipo pesan menos.</p> <p>Tienen menor consumo de combustible en comparación con los chasis que tienen una arquitectura desarrollada con piezas como un conjunto distinto.</p> <p>Mayor seguridad al tener todo el chasis integrado.</p> <p>Alta resistencia interior</p>	<p>como todas las piezas forman parte de un conjunto, en ocasiones puede ser complicado reparar una parte sin interferir con otra.</p> <p>Baja resistencia exterior, es decir, no soporta impactos superficies complicadas</p>

Fuente: [2]

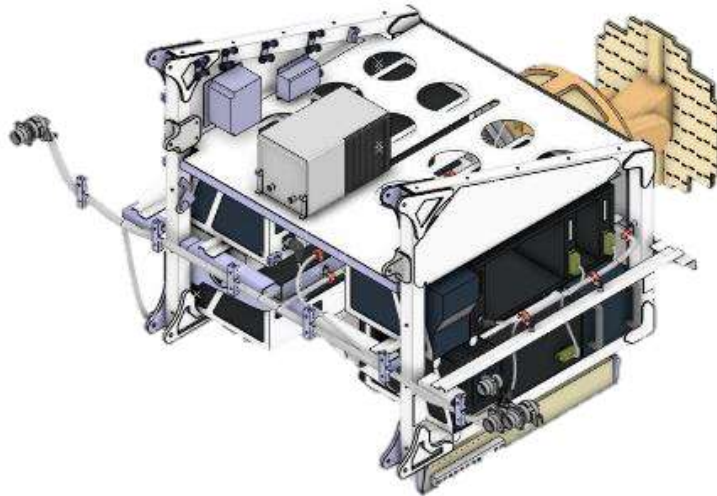
2.2 COMPONENTES Y REQUERIMIENTOS PARA LA SELECCIÓN

Los elementos seleccionados para el desarrollo del sistema de transporte terrestre han sido el Turbofan y la nariz del avión (ver Figura 7) [1] ambas pertenecientes al Falcon2000S, permitiendo el control de medidas básicas de selección y diseño.

Figura 7 Componentes Falcon2000S



Vista isométrica Turbofan

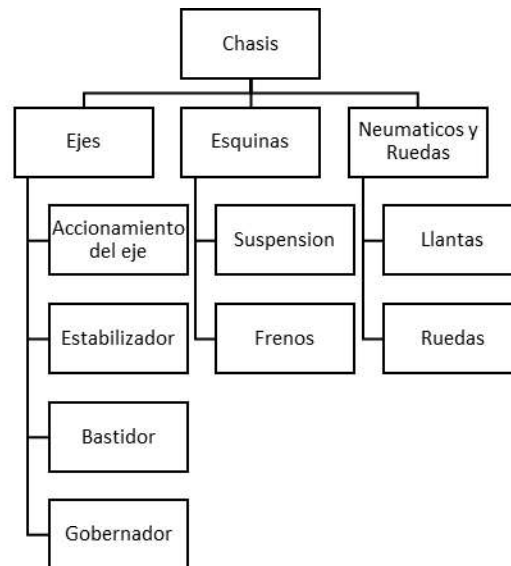


Vista isométrica Nariz

Fuente: [1]

En primer lugar, se determinaron una serie de componentes básicos con los cuales debe contar un vehículo de transporte [3], que posteriormente ayudarán a escoger los elementos que conformarán el sistema de transporte. En la Figura Plana 1 se definen los sistemas primarios y secundarios.

Figura Plana 1 Componentes secundarios de un Chasis



Fuente: [4]

El accionamiento del eje o el sistema de potencia como le llamaremos en adelante, será alimentado por el subsistema de alimentación portable y recargable de baterías y se les asignará un espacio preliminar el cual será corregido en el proceso de diseño, al momento de tener las especificaciones técnicas que pueden variar dependiendo del tamaño y potencia requerido.

El sistema de suspensión y llantas mecanum, fue seleccionado por el grupo de investigación de Factory Futures, los cuales eliminan de antemano el uso de un sistema de freno, este cuenta con un sistema de apoyo o suspensión cuyo cometido es superar las desigualdades del terreno sobre la que se desplaza manteniendo siempre en contacto las ruedas sobre la superficie de trabajo ayudando a soportar las cargas dinámicas y estáticas generadas.

La ubicación y facilidad para la instalación de los elementos a transportar también estará cubierta por un sistema de elevación que puede funcionar de diferentes maneras o configuraciones como lo es la mecánica, neumática, hidráulica entre otras.

En cuanto al sistema de control, se le asignará el espacio suficiente para líneas de comunicación, transferencia de energía y de datos, lo cual garantiza que no se interfieran con los demás medios de comunicación y de la alimentación de los diferentes subsistemas del vehículo, de igual manera se debe asignar el espacio que garantice al centro de control un buen desempeño.

2.3 SELECCIÓN DEL BASTIDOR PARA DISEÑO DEL CHASIS

Con base a cada uno de los requerimientos establecidos con anterioridad se realizará la selección del tipo de chasis basados en la siguiente matriz de decisión (ver Tabla 2).

Tabla 2. Matriz de decisión

CALIFICACIÓN						
Tecnología		Resistencia mecánica	Peso	Capacidad de Almacenamiento	Capacidad de Carga	Resultado
Factor de Ponderación		0.3	0.2	0.3	0.2	1
Bastidor en X	Calificación	6	6	7	7	6.5
	Producto	1.8	1.2	2.1	1.4	
Bastidor perimetral	Calificación	8	7	8	8	7.8
	Producto	2.4	1.4	2.4	1.6	
Bastidor de plataforma	Calificación	6	8	7	6	6.7
	Producto	1.8	1.6	2.1	1.2	
Bastidor tipo H	Calificación	8	6	9	8	7.9
	Producto	2.4	1.2	2.7	1.6	
Bastidor columna vertebral	Calificación	7	6	6	9	6.9
	Producto	2.1	1.2	1.8	1.8	
Autoportante	Calificación	7	8	4	5	5.9
	Producto	2.1	1.6	1.2	1	

Fuente: [5]

Como se pudo observar en la Tabla 2 debido a las características que permite el cumplimiento de los objetivos y necesidades del sistema de transporte terrestre se seleccionó el bastidor tipo H.

CAPÍTULO 3. PARÁMETROS DIMENSIONALES Y DISTRIBUCIÓN DE SISTEMAS EN EL CHASIS

Los parámetros dimensionales con los cuales va a contar el chasis del sistema de transporte terrestre depende de las condiciones estructurales y dimensionales impuestas por cada uno de los elementos a transportar junto con los diferentes subsistemas y componentes que formaran parte del sistema de transporte.

Uno de los requerimientos de mayor relevancia al momento de hacer la selección y diseño del chasis es el espacio de movilidad disponible entre las diferentes líneas de producción, dando como resultado un sistema de transporte delimitado en sus dimensiones que permita la mayor fluidez entre las diferentes áreas de manufactura y al mismo tiempo que garantice la autonomía y efectividad en la planta de procesos. se ha establecido una lista de requerimientos con el grupo de trabajo de Factory Futures (ver Tabla 3).

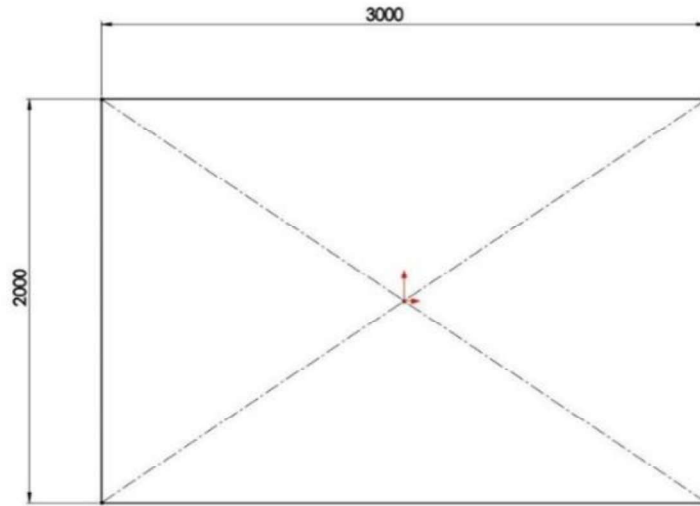
Tabla 3. Requerimientos de diseño

Especificaciones Preliminares	Valores
Altura [mm]	700
Carga Útil [kg]	5000
Largo [mm]	3000
Ancho [mm]	2000
Numero de ruedas	6
Diámetro de las ruedas [mm]	375 a 575
Velocidad [km/h]	0,1 a 3
Tiempo de autonomía [horas]	8
Distancia rueda-suspensión [mm]	+/- 35
Altura de elevación [mm]	750 a 2850

Fuente:[1]

La información suministrada por la Tabla 3 permite realizar bosquejo preliminar en una vista superior del chasis, tal y como se ve en la Figura 8 (unidades en milímetros).

Figura 8. Requerimientos de diseño



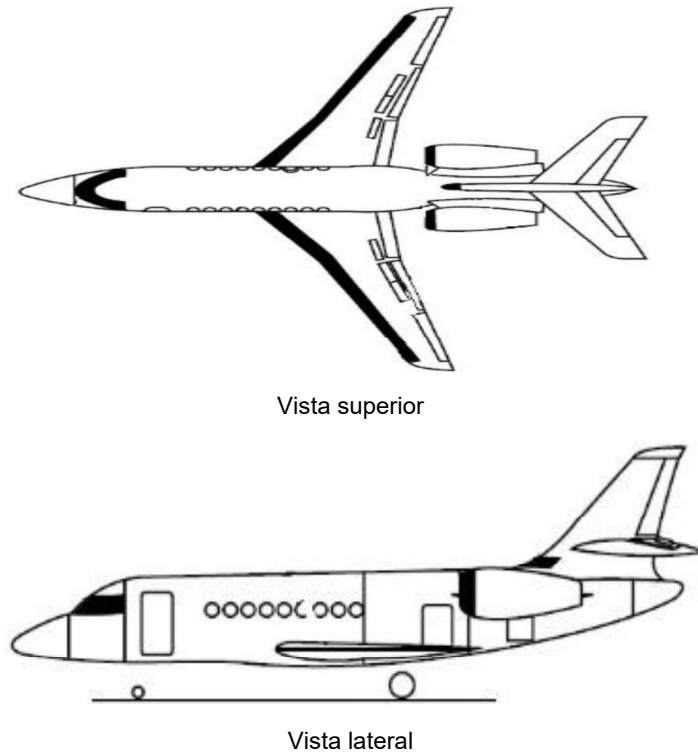
Esta configuración nos permitirá contar con un área de trabajo amplia para la instalación de cada uno de los sistemas mencionados en el literal 2.1 TIPOS DE BASTIDORES y al contar las ruedas mecanum podrá desplazarse por las diferentes líneas de producción sin ningún tipo de problema.

3.1 ELEMENTOS A TRANSPORTAR

En primer lugar, se debe de corroborar las medidas iniciales dadas por el grupo de trabajo (ver Tabla 3) con las medidas del Turbofan y nariz del Falcon2000s, ya que se tiene como requisito el resguardar y proteger a cada uno de estos e impedir que interfieran ocasionando algún tipo de daño, accidente o retraso con las demás líneas de producción, para esto se debe de contar con el espacio suficiente que garantice que los elementos no sobresalgan del área del sistema de transporte terrestre. Es decir, se toma como referencia al Turbofan, el cual cuenta con el mayor tamaño, peso y complejidad de sujeción al momento de ser transportado y ensamblado a la infraestructura principal del Falcon2000S en comparación con la nariz de la ya mencionada aeronave.

3.1.1 Turbofan Falcon2000S. El Turbofan fabricado por Pratt & Whitney Canadá con referencia PW308C, es el encargado de generar el impulso a la aeronave y sus van instalados en la parte trasera de la aeronave (ver Figura 9). En otras palabras Su posición hace del montaje a la estructura del Falcon2000s un reto de ingeniería [1]. El Turbofan cuenta con una medidas y características como lo muestra la Tabla

Figura 9. Ubicación motor PW308C en avión Falcon2000S



Fuente: [1]

Tabla 4. Características Técnicas

PW308C Turbopan	
Longitud [m]	2,184
Diámetro [m]	1,299

Fuente: [1]

Una vez Confirmadas que las medidas vistas en la Tabla 4 y comparando con la ubicación visualizada en la Figura 9, se permite determinar las necesidades básicas para el transporte seguro del Turbopan y por consiguiente la nariz del Falcon2000S.

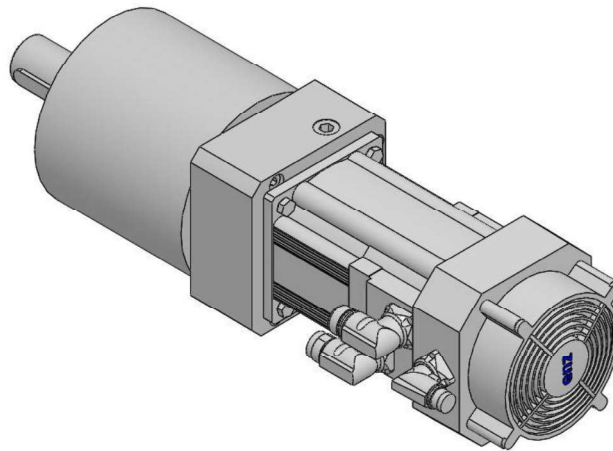
3.1.2 Subsistema de potencia. Este subsistema será el encargado transmitir la fuerza desde el motor hasta la rueda, generando el movimiento lineal al sistema de transporte terrestre. este se conforma por un servomotor y un reductor de velocidad tal como se puede observar en la Figura 10 [6]. El sistema de transporte terrestre estará conformado por cuatro servomotores que cuentan con el suficiente torque para generar un una aceleración y desaceleración en el sistema de una manera inmediata (ver Tabla 5) [1].

Tabla 5. Caracterización motor Lenze g700

Motor LENZE g700-p800-2-MCS12D17	
Tipo de caja de cambios	P800-2
Montaje en la caja de cambios (brida)	IEC ass. with clamp. Ring hub
Tipo de motor	MCS 12D17
Tensión nominal [V]	330
Frecuencia nominal [Hz]	110
Potencia nominal [kW]	1.2
Electr. Conexión - potencia	Plug
Electr. Conexión - retroalimentación	Plug
Conexión	In position 2
Realimentación	Resolver RS0
Versión del freno	Sin freno
Voltaje del freno	Sin freno
Par de frenado	N/A
Recinto	IP54
Enfriamiento	Blower 1~ 115 V +-10%
Longitud [mm]	565.50
Ancho [mm]	184.66
Altura [mm]	159.90

Fuente: [6]

Figura 10. Motor LENZE g700-p800-2-MCS12D17



Fuente: [6]

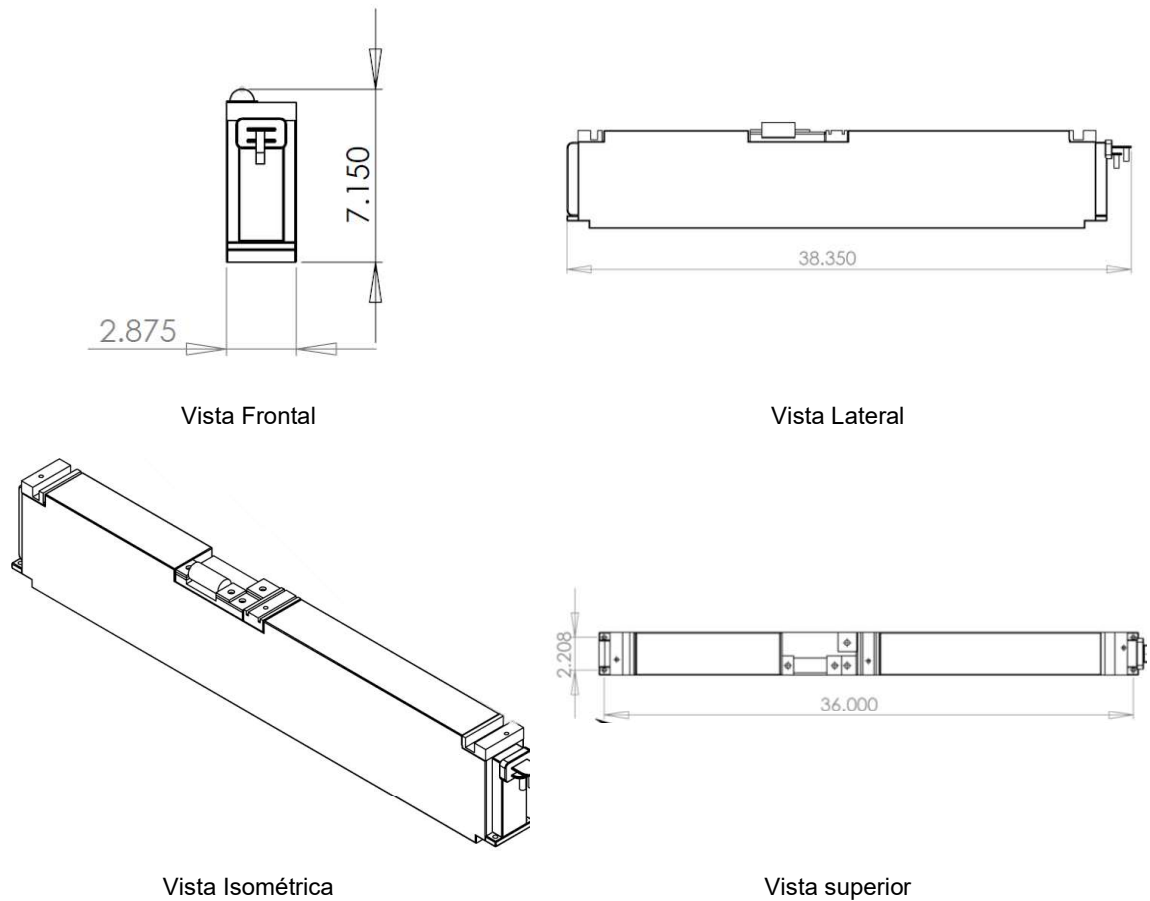
3.1.3 Subsistema de suministro. Este será el encargado de suministrar la energía necesaria garantizando la autonomía establecida de ocho horas a los diferentes subsistemas y a cada uno de sus componentes, basándose en las especificaciones de autonomía dadas por el Factory Futures (ver Tabla 3) [7]. para este fin se contará con 16 baterías Tesla (ver Figura 11) de iones de Litio con unas especificaciones técnicas que se muestran en la Tabla 6 [1]

Tabla 6. Tesla Smart Lithium Ion 18650

Batería Tesla Smarth	
Capacidad [Ah, kWh]	57, 3
Altura [mm]	184.15
Anchura [mm]	73,025
Longitud [mm]	990,6
Peso [kg]	20
Voltaje nominal [V/Cell, V/Modulo]	3.8; 57.0
Corte de la tensión de carga [V/Cell, /Modulo]	4,2; 63,0
Corte de descarga [V/Cell, V/Modulo]	3,3; 50
Corriente máxima de descarga (10 s) [A]	150

Fuente: [8]

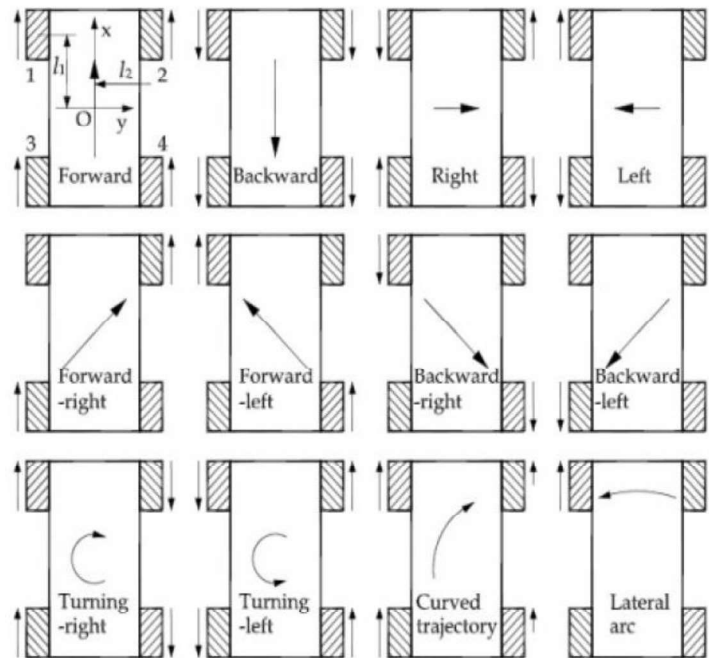
Figura 11. Batería Tesla Smart Lithium Ion 18650 EV Module



Fuente: [7]

3.1.4 Llantas Mecanum. Las llantas o ruedas Mecanum cuentan con la propiedad de convertir a un vehículo de cuatro ruedas ordinario dependiente de un eje autónomo del bastidor que le permita cambiar la dirección [4] a un vehículo que sin contar con el eje autónomo es omnidireccional es decir que cuenta con la capacidad de moverse en cualquier dirección instantáneamente dependiendo del sentido y velocidad angular del conjunto de ruedas (ver Figura 12), dando una gran ventaja frente a las demás configuraciones de ruedas normales ya que permite realizar varias operaciones en espacios reducidos y congestionados por objetos estáticos o dinámicos [9].

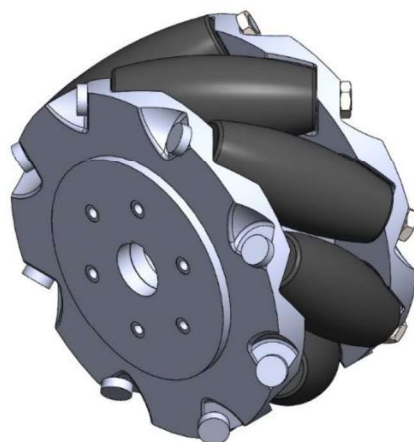
Figura 12. Movimiento según la dirección y velocidad angular de las ruedas



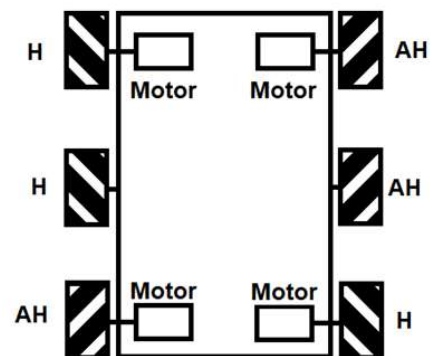
Fuente: [9]

El sistema de transporte terrestre contara con seis ruedas, donde solo cuatro contarán con suministro de potencia y las otras dos servirán de apoyo y soporte estructural. Las ruedas contarán con un radio aproxima de 180 mm y un espesor de 200 mm (ver Figura 13) estas se acoplarán al sistema de suspensión [5].

Figura 13. disposición, dirección de las ruedas Mecanum



Vista isométrica rueda Mecanum



Disposición ruedas Mecanum

3.1.5 Subsistema de elevación. Este subsistema será el encargado de la elevación de los elementos a transportar, facilitando la instalación a la estructura principal del Falcon2000S estará compuesto principalmente por un motor que transmite movimiento a un tornillo sin fin, el cual a su vez genera un movimiento entre ejes que se encuentran en ángulo recto y que otorgan el posicionamiento de los elementos de una manera precisa [5].

3.1.6 Subsistema de control. Son un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar y regular a cada uno de los subsistemas mencionados anteriormente de tal manera que se reducen las posibilidades de falla en el funcionamiento de estos y generar cualquier tipo de daño del mismo sistema de transporte terrestre contra los equipos y personal que lo rodean [10], obteniendo el resultado esperado al momento de realizar el transporte e instalación de los elementos que van incorporados al Falcon2000s.

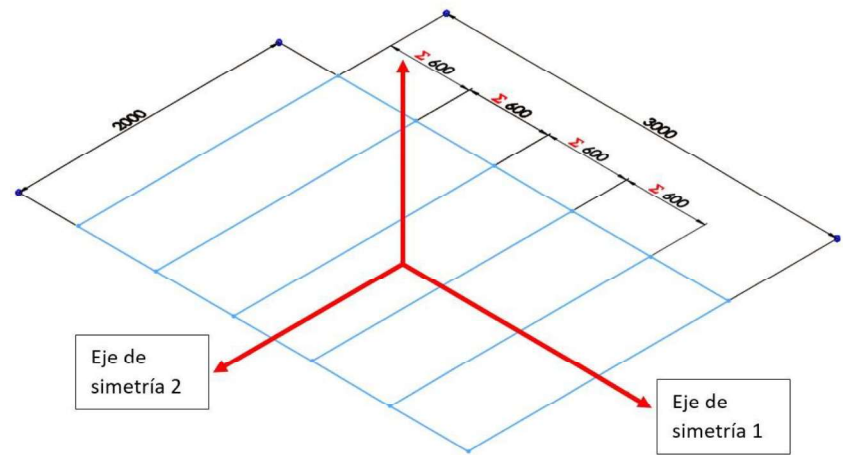
3.2 DISTRIBUCIÓN Y ASIGNACIÓN DE ESPACIOS PARA EL DISEÑO DEL CHASIS

Al momento de realizar la distribución se piensa en la simetría bilateral de los diferentes subsistemas que conforman al chasis que van sujetos de forma directa o indirecta al bastidor, ya que al balancear las cargas se toma uno o varios planos como referencia logrando una distribución uniforme de las mismas, facilitando el manejo del sistema de transporte terrestre durante el traslado de un punto a otro [3].

También se tomará en cuenta la distribución de las masas adicionales al bastidor, particularmente como lo son: la instalación refuerzos, sistemas de sujeción, conductos para las líneas de comunicación y alimentación. Es decir que al momento de analizarlos de una manera más profunda y teniendo en cuenta los efectos que se pueden generar, tales como: momentos de inercias indeseados, que se presentan al ocasionar un cambio en el movimiento de un cuerpo o al momento generado por la rotación de las masas con respecto a un eje lo que da como resultado la reducción en el factor de seguridad, velocidad máxima permitida, aceleraciones y capacidad de carga útil [5].

Se establece que el bastidor contara con 5 divisiones o módulos los cuales albergarán y protegerán los diferentes subsistemas como se puede ver en la Figura 14 (medidas en milímetros) [1].

Figura 14. Bastidor con los módulos (plano isométrico)



Las distribuciones de los diferentes subsistemas se determinaron de la siguiente manera (ver Figura 15). pensando siempre en el equilibrio de cargas, simetría y buen desempeño de los diferentes componentes.

Figura 15. Distribución de los sistemas en los módulos

A2	A3	A2	A3	A2	A1 Sistema de potencia
A1				A1	A2 Ruedas Mecanum y
M1	M2	M3	M4	M5	A3 Sistema Suspensión
	A5	A4 Y A5	A5		A4 Sistema de elevación
A1				A1	A5 Sistema de control
A2	A3	A2	A3	A2	A5 Sistema de Suministro

M1

M2

M3

M4

M5

Modulo Uno

Modulo Dos

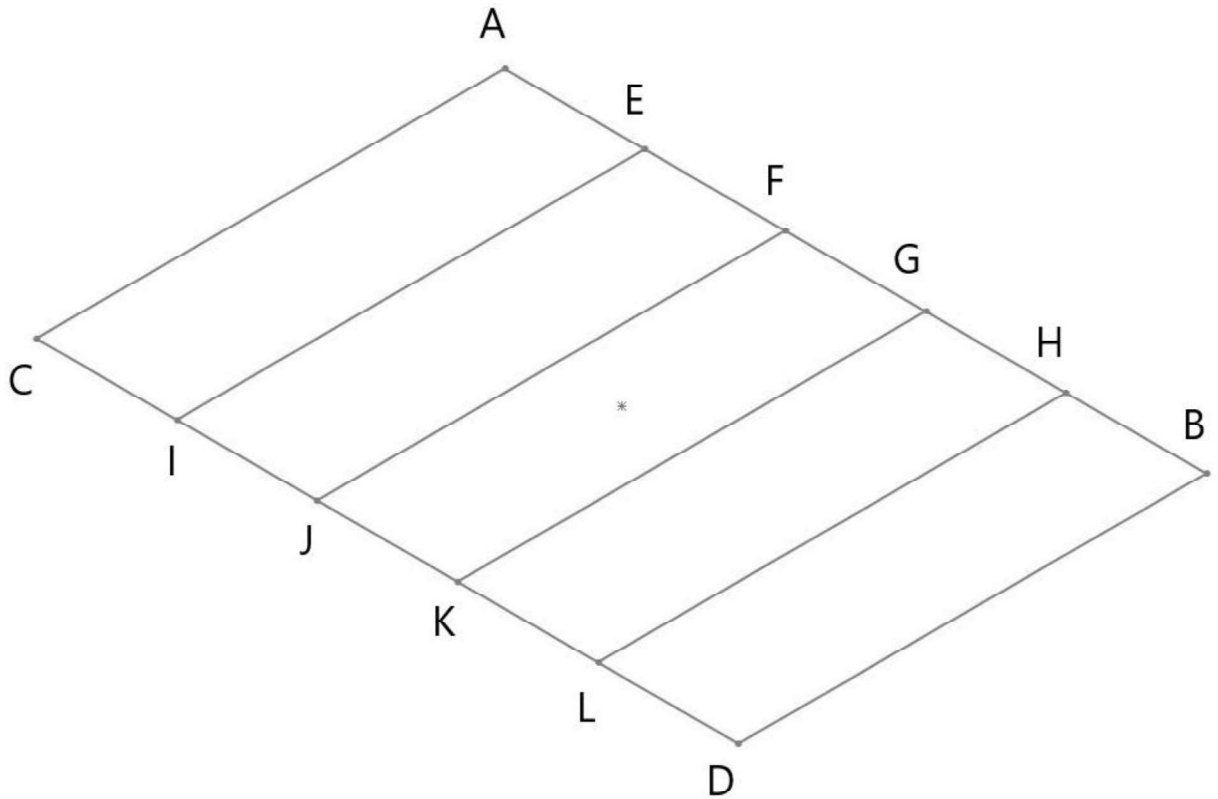
Modulo Tres

Modulo Cuatro

Modulo Cinco

Los laterales principales o largueros estarán compuestos entre los puntos AB y CD estos serán los encargados de soportar el peso de los elementos aeronáuticos a transportar, los sistemas de potencia y sistema de elevación. El bastidor también estará compuesto por unas divisiones o travesaños con las cuales se mantiene la estructura del bastidor y dividirá en módulos permitiendo la protección y almacenamiento de los diferentes sistemas (ver Figura 16) [1].

Figura 16. Parales y divisiones del bastidor



CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL CHASIS

El diseño está conformado por varias fases que se pueden desarrollar de forma paralela o en serie, dependiendo de la conexión o relevancia entre las mismas, pero siempre van apuntando a un mismo fin que es el desarrollo del proyecto, el cual permitirá el cumplimiento del objetivo plasmado desde el inicio [3].

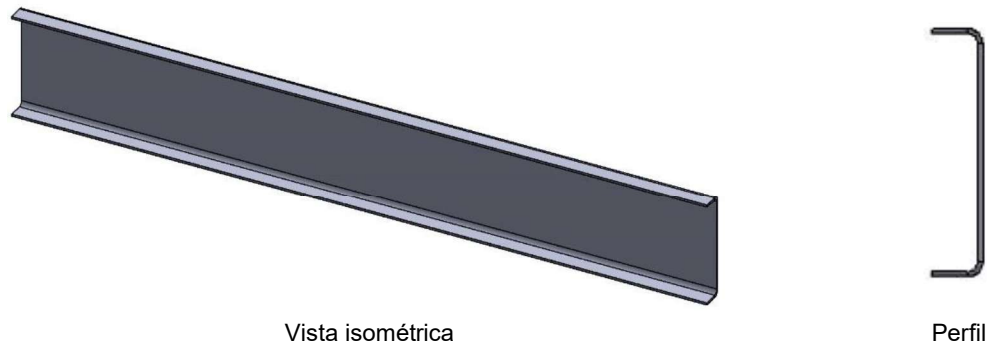
En el proceso de diseño del chasis del sistema de transporte terrestre, se debe garantizar que al tomar decisiones tales como la selección del tipo de bastidor y el desarrollo del mismo, estos no afecten los parámetros ya establecidos, para ellos se aplicaran una serie de técnicas y principios científicos [5]. Con estos principios se procede a la toma de decisiones como la elección del material, formas, tamaños y procesos de fabricación de las piezas que conformaran el sistema de transporte terrestre.

4.1 GEOMETRÍA DEL BASTIDOR

Para la geometría del bastidor es importante tener en cuenta los costos de adquisición y de disponibilidad del mercado actual, para la implementación e instalación de los diferentes sistemas y componentes que conformaran al chasis. siendo las horas hombre uno de los principales factores que afectan los costos para la industria, es por eso que se desea que el bastidor sea lo más efectivo y sencillo de fabricar.

En los procesos de producción más conocidos por la industria siderúrgica o metalmecánica se encuentran la del conformado y el doblado [11], de esta manera, se empezó el trabajo del diseño del bastidor con un perfil básico en “U” de doblado o chapa metálica (ver Figura 17), que permite la implementación de paredes exteriores planas que facilitan situar sobre ellas cargas o bastidores auxiliares ya sea para mejorar la resistencia de la estructura portante principal o sistemas de apoyo. Este tipo de perfiles son los más utilizados en camiones rígidos, autobuses y remolques debido a que en los largueros al ser de tipo abierto permiten la flexión sin que se exponga el material a tensión y absorber fuerzas laterales [12]

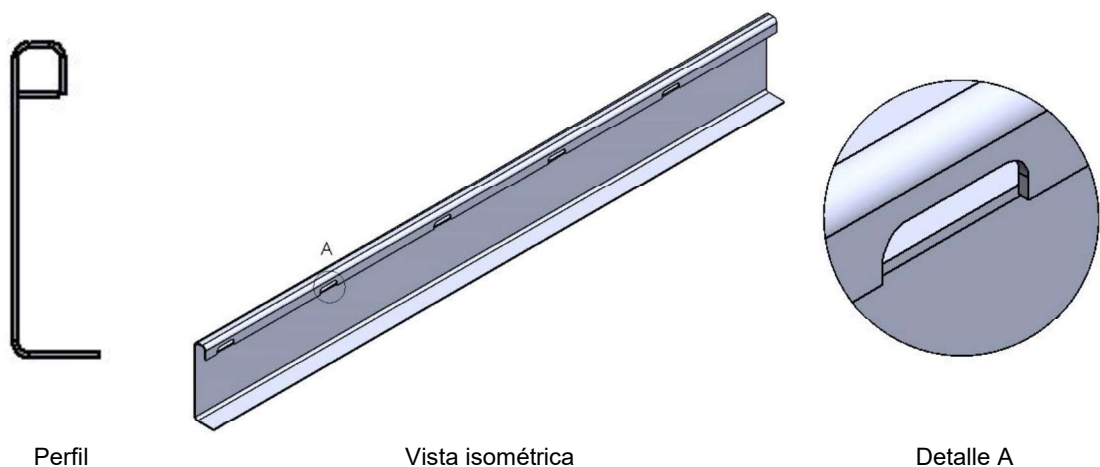
Figura 17. Perfil tipo "U"



Una vez observada la protección que otorga a los elementos que conformaran al chasis y facilidad de sujeción que se obtiene al implementar un perfil en "U" para cada uno de estos, se opta por trabajar con este modelo para los largueros y travesaños [1].

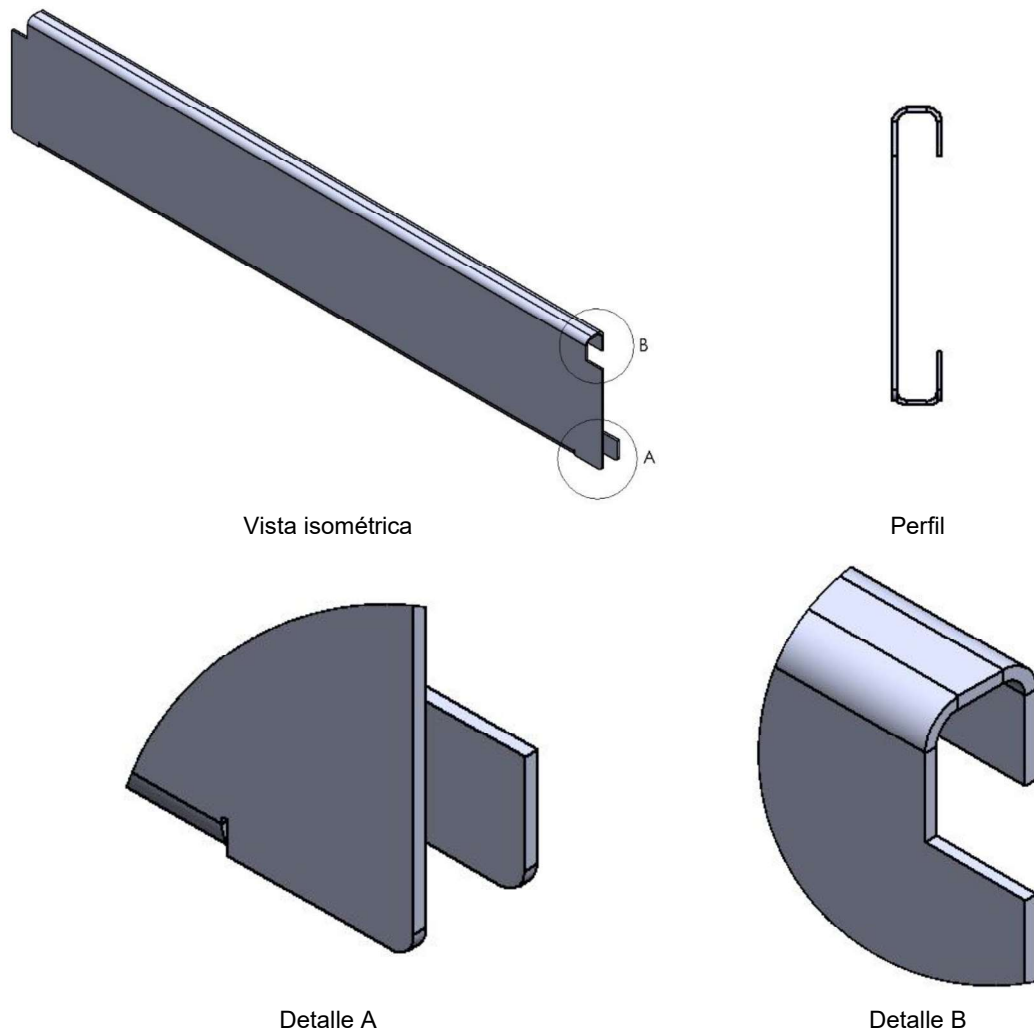
4.1.1 Geometría Largueros. Los largueros son la base del bastidor tipo "H" y su propósito es soportar la carga. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizarán unos cambios al perfil básico tipo "U", tales como: la pestaña inferior tendrá una extensión pensando en el apoyo de las divisiones (ver Figura 18), también en la parte superior se le realizara un doblez adicional que permita darle lugar a las líneas de comunicación y alimentación de los diferentes componentes como se puede ver en el Detalle A de la Figura 18, se adicionará una serie de láminas de apoyo y perforaciones para cada módulo que permita la comunicación entre ellos [1].

Figura 18. Perfil Larguero Modificado



4.1.2 Geometría de frontales. Buscando un diseño que permita dar una protección a cada uno de los componentes, se requiere como primera medida que estos no estén visibles o al alcance del personal no calificado de la planta. Por este motivo se decidió dar paso a los frontales ubicándolos al final de los largueros (ver Figura 19) [1], dando un acabado en los extremos superiores e inferiores permitiendo el ensamblaje y ajustes deseados como se pueden ver en el Detalle A y el Detalle B de la Figura 19.

Figura 19. Frontales



4.1.3 Geometría travesaños. Esta estructura se conoce como travesaños primarios, y serán los encargados de la separación de los diferentes módulos y de mantener los largueros en posición antes, durante y después del transporte de los elementos aeronáuticos (ver Figura 20).

Buscando impedir las deformaciones generadas por las solicitudes de carga se ha implementado un tipo de refuerzo, el cual llamaremos travesaños secundarios (ver Figura 21). En ambos casos se ha dejado espacios adecuados para los canales de comunicación, es decir, en la parte superior para la comunicación entre módulos (Detalle A, Figura 20) y en la parte inferior para dispositivos dentro del mismo módulo (ver Figura 20) [1].

Figura 20. Travesaño primario

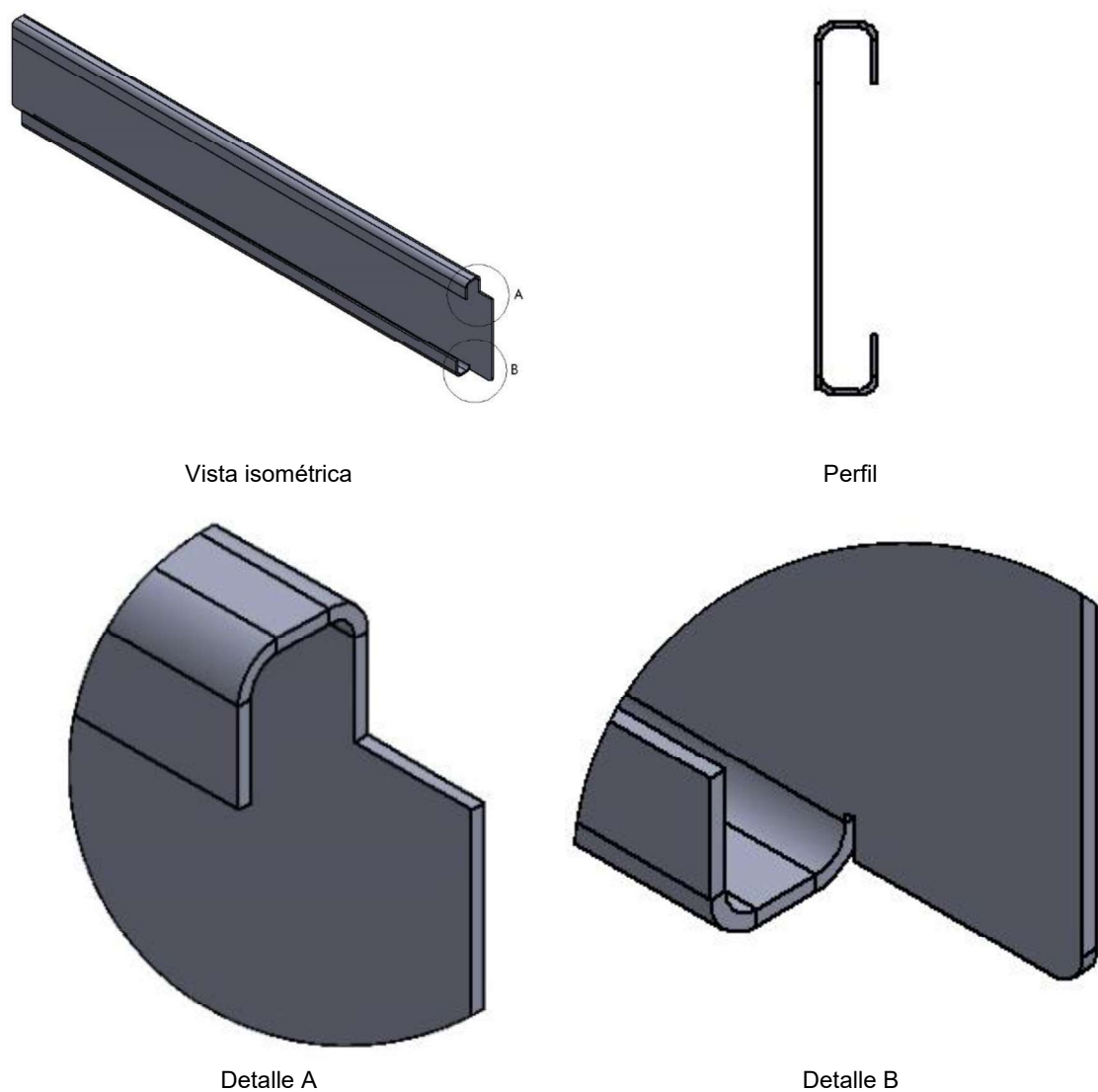
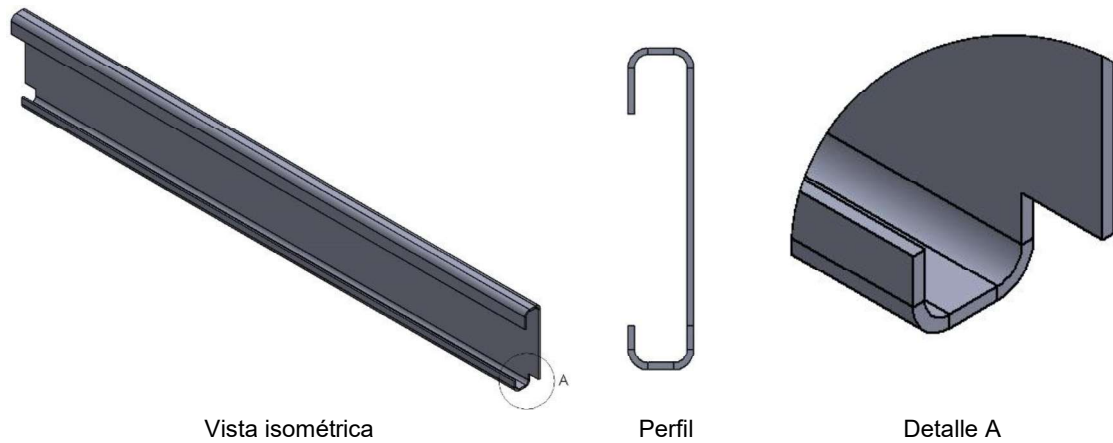
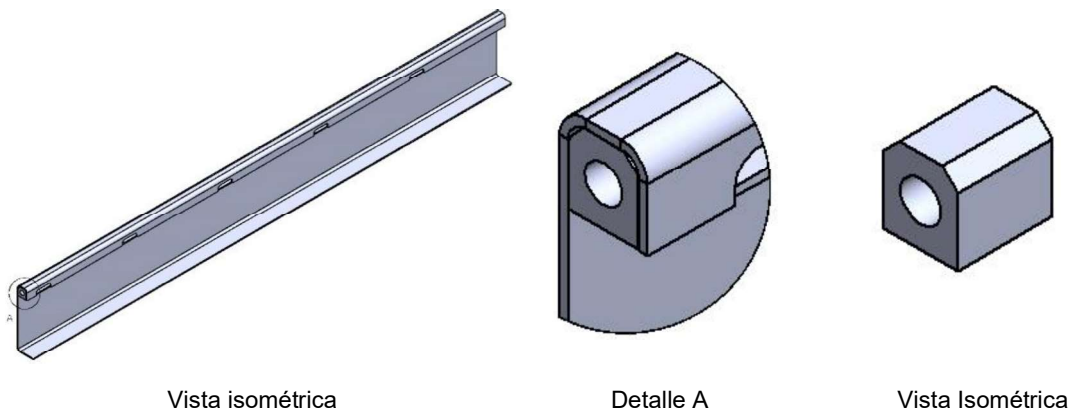


Figura 21. Travesaño secundario



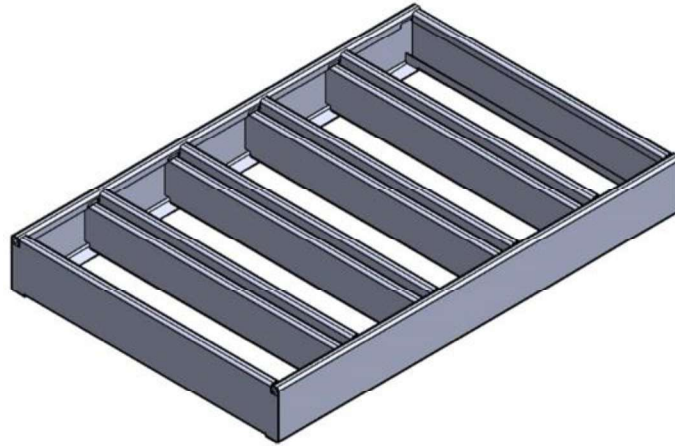
4.1.4 Bloques de apoyo. Para los cálculos del sistema de potencia se trabaja con una solicitud de carga de 3000 kg, debido al peso de los elementos aeronáuticos y elementos adicionales que facilitan el transporte de estos, con un factor de seguridad superior a uno [1]. Para respaldar esto, al momento de realizar el análisis con alguna de las herramientas tecnológicas disponible, se adiciona a los largueros un bloque de apoyo que se ubicará en la pestaña superior de cada uno de los travesaños primarios (Detalle A, Figura 22).

Figura 22. Configuración bloque de apoyo



Al posicionar cada uno de estos componentes vistos en el literal 4.1 GEOMETRÍA DEL BASTIDOR, se dará forma al bastidor del sistema de transporte terrestre (ver Figura 23),

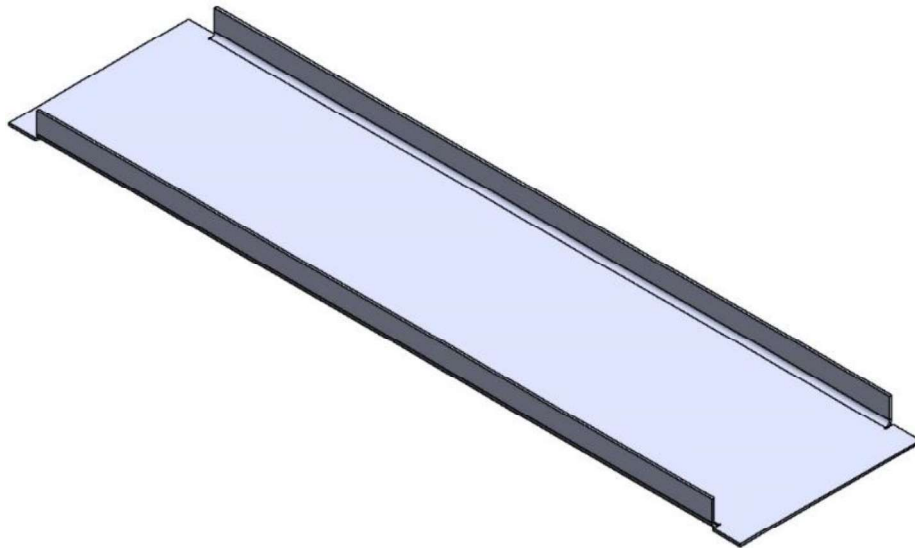
Figura 23. Bastidor sistema de transporte terrestre



4.2 SOPORTE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

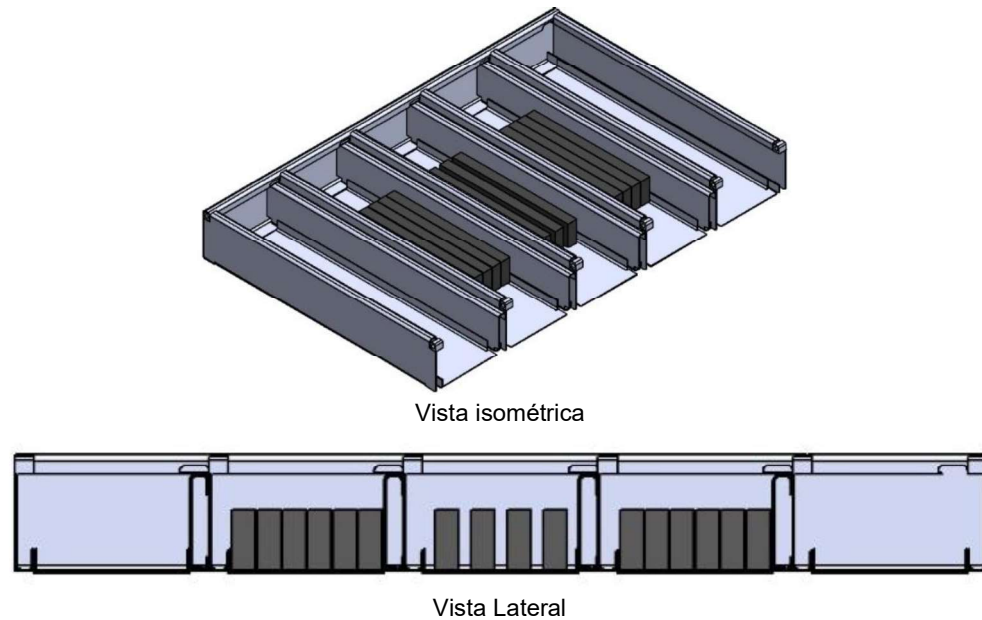
Para este sistema de alimentación, se contará con 16 unidades de baterías Tesla y se pensó dentro del diseño, en una base uniforme para la parte inferior del bastidor (ver Figura 24) que permita su fácil ubicación, de tal manera que soporte el peso y permita la fácil comunicación con el resto de los sistemas.

Figura 24. Soporte Para baterías Tesla



En consecuencia, para este sistema se encuentra la disponibilidad de los módulos M2, M3 y M4 visto en la Figura 15 y al buscar la simetría con el eje dos se plantea la siguiente configuración: a) M2; seis baterías, b) M3; cuatro baterías y c) M4; seis baterías (Ver Figura 15)

Figura 25. Distribución Sistema de alimentación



4.3 SOPORTE SUBSISTEMA DE SUSPENSIÓN, POTENCIA Y RUEDA MECANUM

Este diseño se basó en un sistema acoplamiento en forma de palanca que permita soportar las cargas, otorgar el movimiento omnidireccional al sistema de transporte terrestre por medio de las ruedas mecanum y el servomotor. Por ello se pensó en una forma apropiada de acoplar todos los elementos a un mismo componente o soporte.

4.3.1 Subsistema de suspensión. Para este subsistema se deben retomar las medidas y formas vistas en la Tabla 4. Dicho elemento cuenta con un punto de referencia de desplazamiento que fue de ± 35 mm, y será el encargado de absorber y amortiguar el impacto generado al momento de ser posicionados para su traslado; de igual manera atenuará las vibraciones causadas por la aceleración o desaceleración generadas por los cuatro servomotores [13].

El amortiguador con muelle, marca Monroe y de referencia CB0069 modelo 2016, cuenta con una carrera máxima de 47 mm ajustable, lo cual nos permite limitarlo a las necesidades de desplazamiento. Así mismo, al comparar la carga crítica establecida en el proyecto Factory Futures [1] y la carga para la cual fue diseñado comercialmente, en este caso un Renault Truck Major R350, se cumple a cabalidad con lo solicitado [14].

Este componente cuenta con dos puntos de apoyo circulares de 12 mm cada uno, y para ello un extremo debe estar sujeto al bastidor y el otro al sistema de

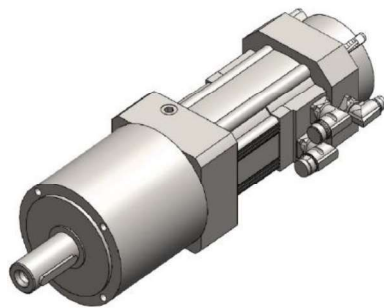
acoplamiento, permitiendo la integración de los diferentes componentes y su correcto funcionamiento (ver Figura 26) [15].

Figura 26. Amortiguador con muelle Monroe CB0069

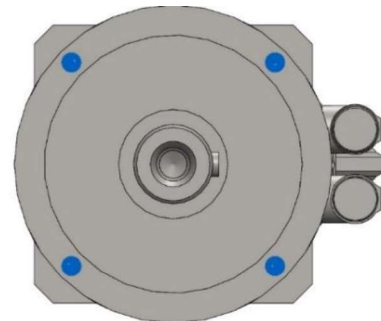


4.3.2 Subsistema de potencia. El servomotor contará con dos puntos de apoyo, el primero situado en la parte delantera, donde se encuentra ubicado el reductor de velocidad por medio de cuatro perforaciones, lo que permite la sujeción a través de tornillería de 10 mm al sistema de acoplamiento, como se puede ver en la Figura 27. Las especificaciones son dadas por el Lenze fabricante [1].

Figura 27. Sujeción delantera Servomotor



Vista isométrica

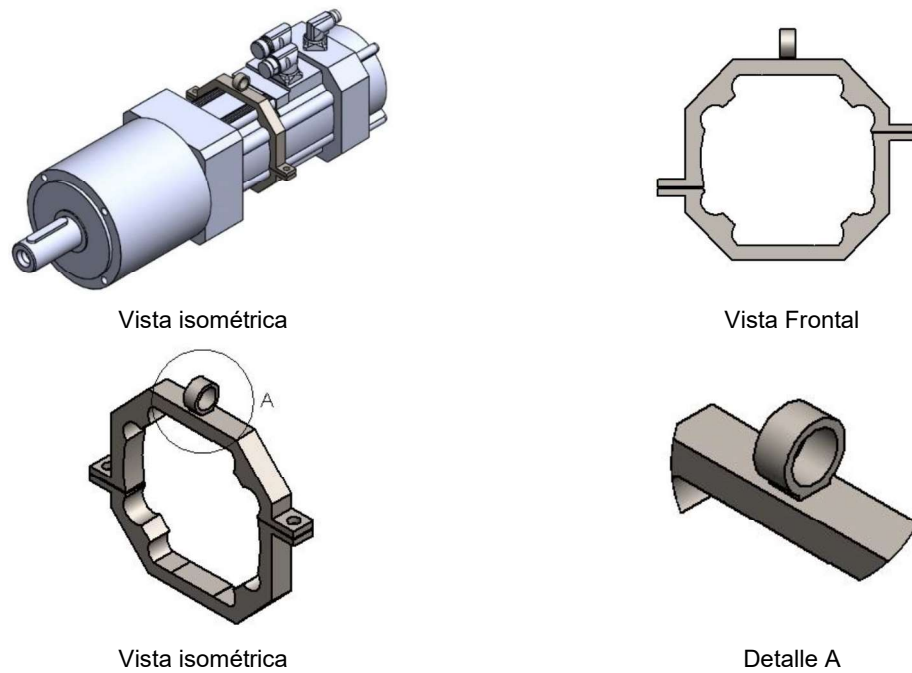


Vista Frontal

Fuente: [6]

El segundo punto de apoyo estará dispuesto en la mitad del cuerpo del servomotor, por medio de un sujetador hecho a medida por el Factory Futures, el cual cuenta con un anillo sujetador (Detalle A, Figura 28) que permite el paso de un cable que dará una mayor estabilidad al momento de transmitir el movimiento [1].

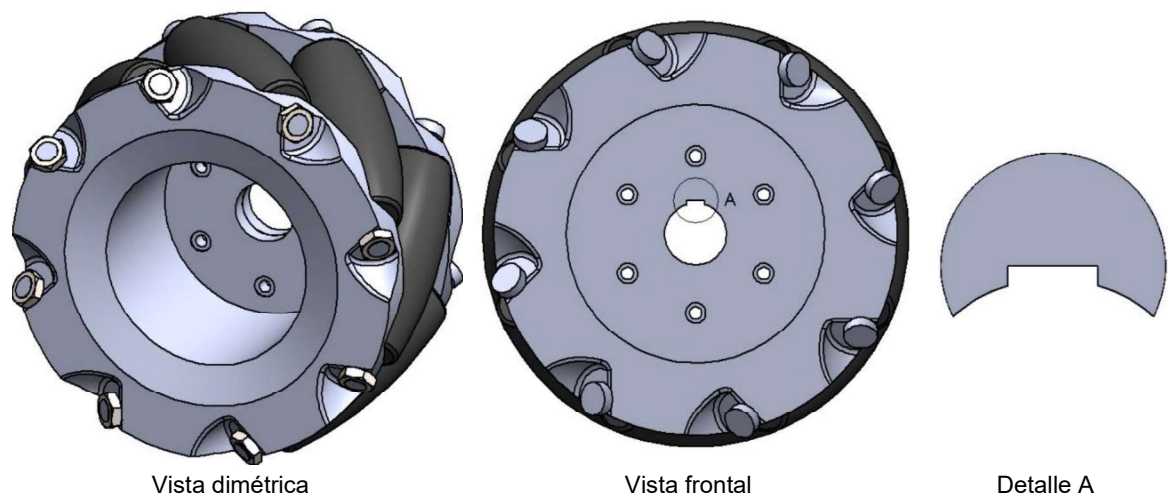
Figura 28. Anillo de sujeción



Fuente: [6]

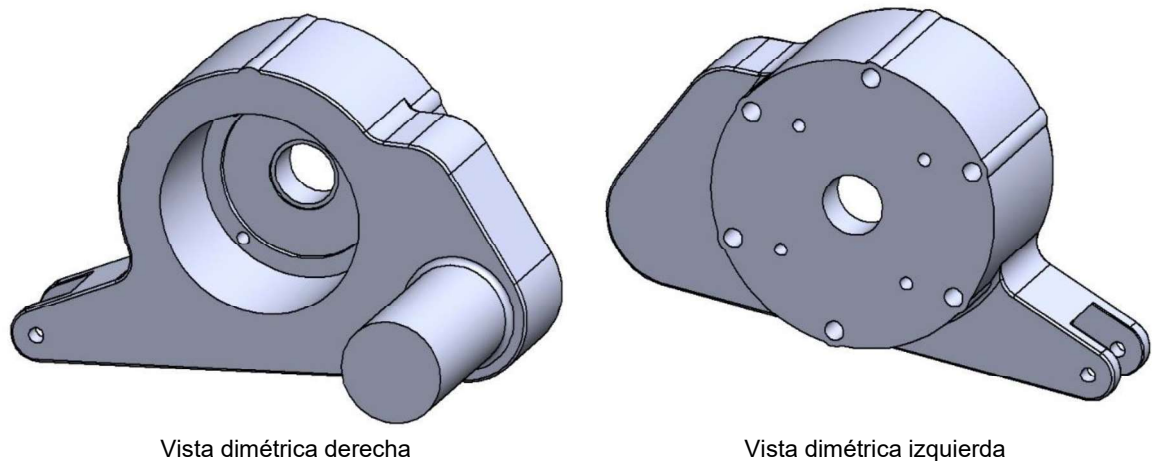
4.3.3 Llanta Mecanum. El diseño final de la llanta Mecanum cuenta con la disponibilidad tanto para la sujeción con el subsistema de acoplamiento, como con la sujeción al eje del servomotor por medio del chavetero (Detalle A, Figura 29).

Figura 29. Sujeción rueda Mecanum



4.3.4 Diseño sistema de acoplamiento. Se ha diseñado un sistema de acoplamiento que permita la integración del subsistema de suspensión, el subsistema de potencia y la llanta Mecanum (ver Figura 30). Este diseño se basó en un sistema de palanca que permita soportar y distribuir la carga crítica ($R=22700$ N) que por medio de un análisis se distribuirán las cargas en los puntos de apoyo facilitando el movimiento omnidireccional al sistema de transporte terrestre [1].

Figura 30. Acople principal



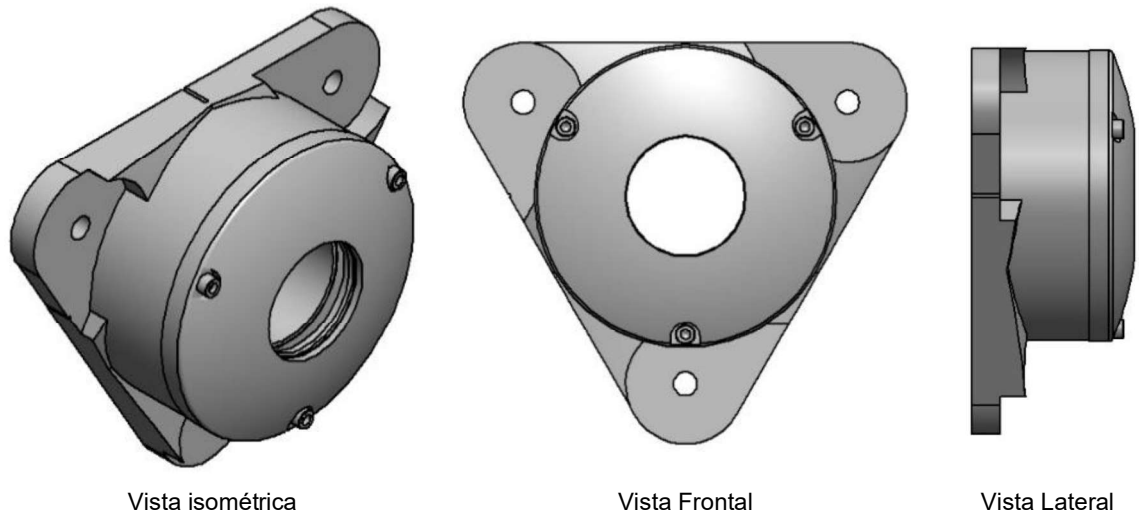
Este sistema de acoplamiento cuenta con dos puntos de apoyo, que se integrarán al bastidor; el primero es una extrusión de forma cilíndrica ubicada en la parte derecha del sistema, tal como se puede ver en la vista dimétrica derecha de la Figura 30, la cual está soportando la carga transmitida desde el bastidor. Esta a su vez servirá como punto de apoyo y soportará en gran medida los esfuerzos generados por la condición más crítica de trabajo [1].

El segundo punto de apoyo es dado para el subsistema de suspensión, como se puede ver en la vista dimétrica izquierda en la Figura 30, este cuenta con un par de pestañas y un orificio que facilitarán la sujeción del amortiguador visto en el punto

4.3.1 Subsistema de suspensión

4.3.5 Chumacera principal. Este componente se integrará al bastidor en los largueros principales y servirá de apoyo para la extrusión cilíndrica, esta chumacera marca SKF de referencia FNL 513 B (ver Figura 31) [16] cuenta con un soporte tipo FNL como lo llama la casa matriz y consta de tres puntos de sujeción ubicados de forma triangular.

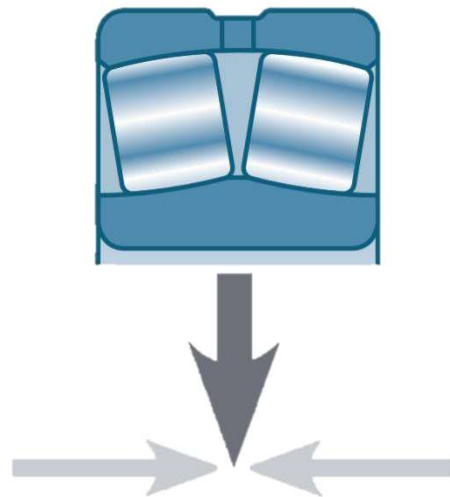
Figura 31. Soporte SKF Tipo FNL



Fuente: [16]

En relación con la chumacera, esta contiene un rodamiento de rodillos a rotula opuestos, de referencia 22216 EK que permite soportar cargas axiales en ambas direcciones y de una manera similar soporta cargas radiales (ver Figura 32), pertinentes para el movimiento omnidireccional otorgado por la rueda Mecanum [17].

Figura 32. Rodamientos de Rótulos opuestos

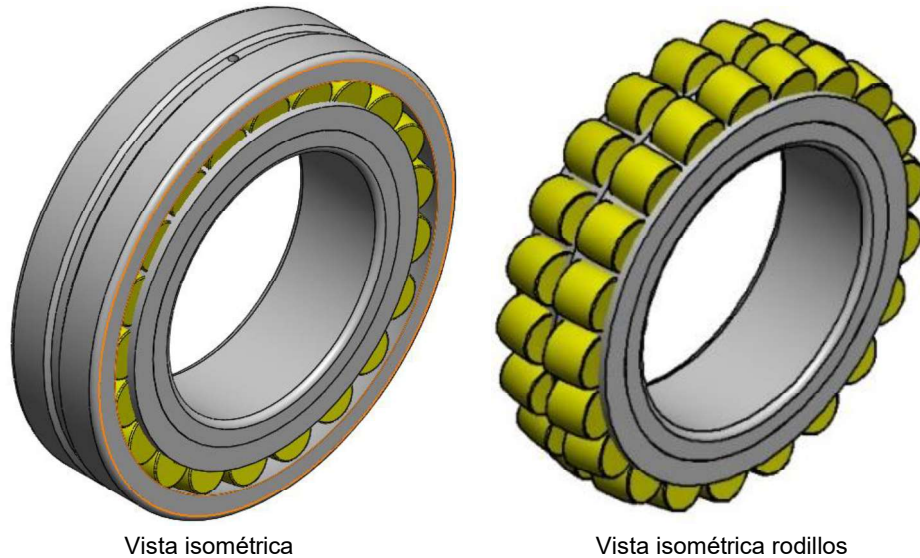


Carga axial importante y carga radial normal (dos sentidos)

Fuente: [17]

El soporte FNL 513 B y el rodamiento 22216 EK (ver Figura 33) [16], al trabajar en conjunto, pueden soportar cargas desde 110 kN y una carga límite de fatiga de 29 kN [16], superiores a la reacción correspondiente a este punto.

Figura 33. Rodamiento SKF referencia 22216EK

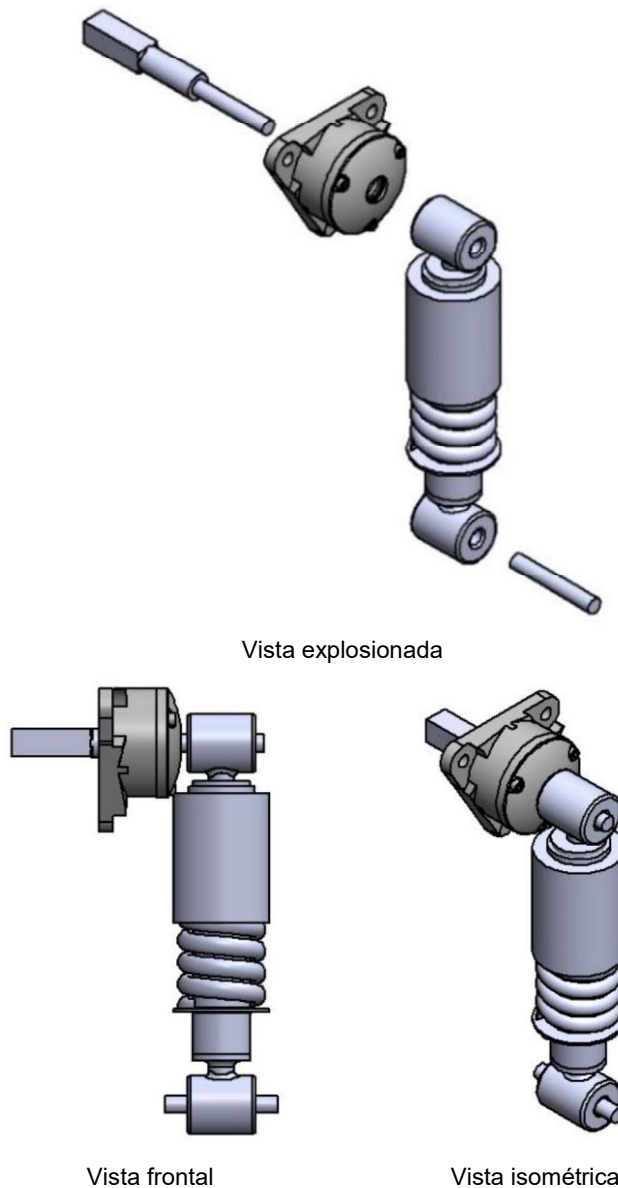


Fuente: [16]

4.3.6 Amortiguador y Chumacera Secundaria. El sistema de acoplamiento cuenta con la facilidad de acoplar el amortiguador con un vástago en la parte inferior y un eje de soporte en la parte superior del componente mencionado, este último ajuste permite generar un diseño a medida con una chumacera SKF de referencia FNL 505 B [16] (ver Figura 34).

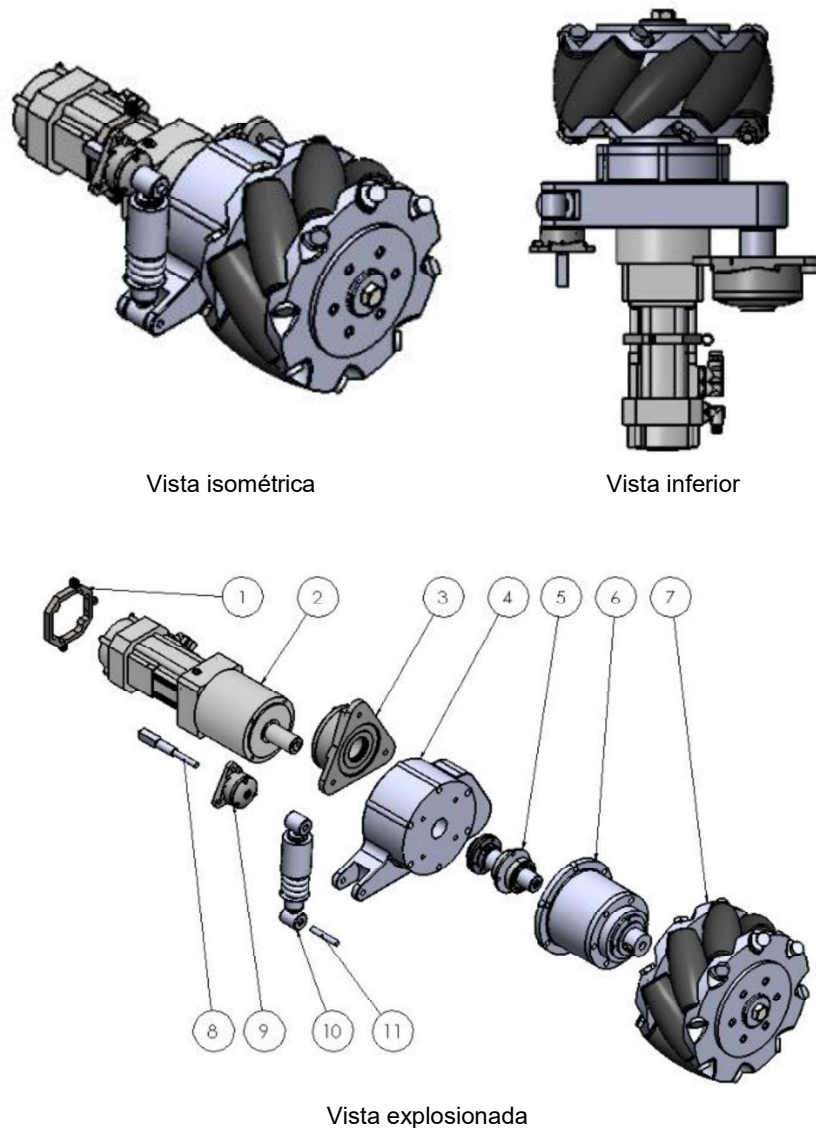
Esta chumacera cuenta con un rodamiento de rodillos a rotula opuestos de marca SKF y referencia 22205 EK [16], la cual permite cargas estáticas máximas de 40 kN soportando las solicitudes de cargas requeridas (ver Anexo A).

Figura 34. Subsistema de suspensión



4.3.7. Propuesta final sistema acoplamiento. Finalmente se dispone de cada uno de los componentes que se integraran al sistema de acoplamiento y sumado a esto se añadieron los siguientes elementos: el componente cinco (5) que consta de un eje de transmisión de potencia, el cual permite la conexión entre la rueda Mecanum y el eje del motor; además del componente número seis (6) constituido por un soporte que otorga una conexión rígida y segura entre el acople principal y el servomotor (ver Figura 35).

Figura 35. Sistema de acoplamiento.



Partes: (1) Anillo de sujeción; (2) Servomotor; (3) Chumacera principal; (4) Acople principal; (5) Eje transmisión de potencia; (6) Soporte rueda Mecanum; (7) Rueda Mecanum; (8) Eje superior amortiguador; (9) Chumacera secundaria; (10) amortiguador; (11) Eje inferior amortiguador.

4.4 SOPORTE SUBSISTEMA DE ELEVACIÓN

El subsistema de elevación es el encargado de soportar a cada uno de los elementos aeronáuticos, facilitar la sujeción y el proceso de instalación de estos a la aeronave, este subsistema se integrará al bastidor por medio de cuatro perforaciones distribuidas de forma cuadrada como se muestra en el Detalle A de la Figura 36. Este subsistema contará con una “C” de apoyo ubicada en la parte interna de los largueros dando una mayor rigidez a la estructura al momento de sostener el peso

de los elementos aeronáuticos y las fuerzas generadas por la elevación del subsistema, así también como la aceleración y desaceleración del sistema de transporte terrestre (ver Figura 37) [1].

Figura 36. Perforaciones Larguero

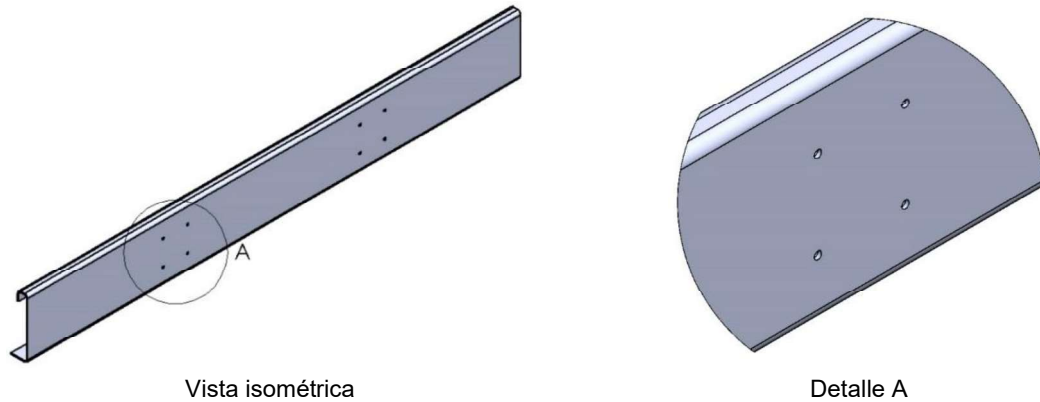
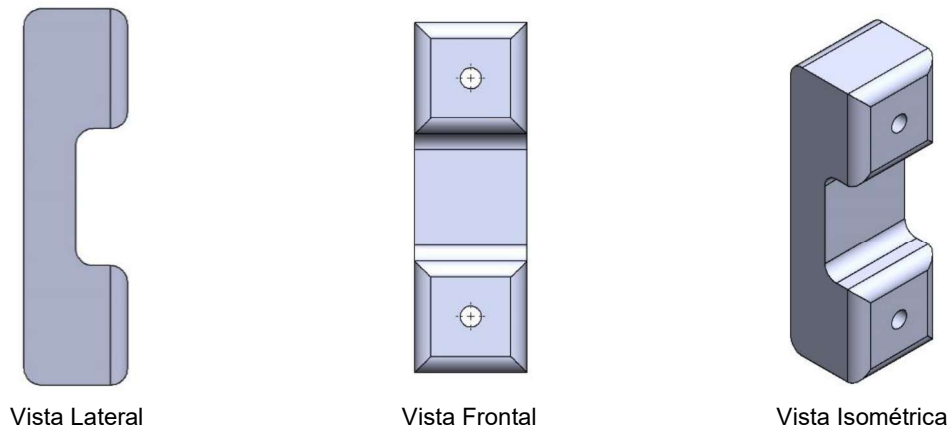


Figura 37. "C" de apoyo



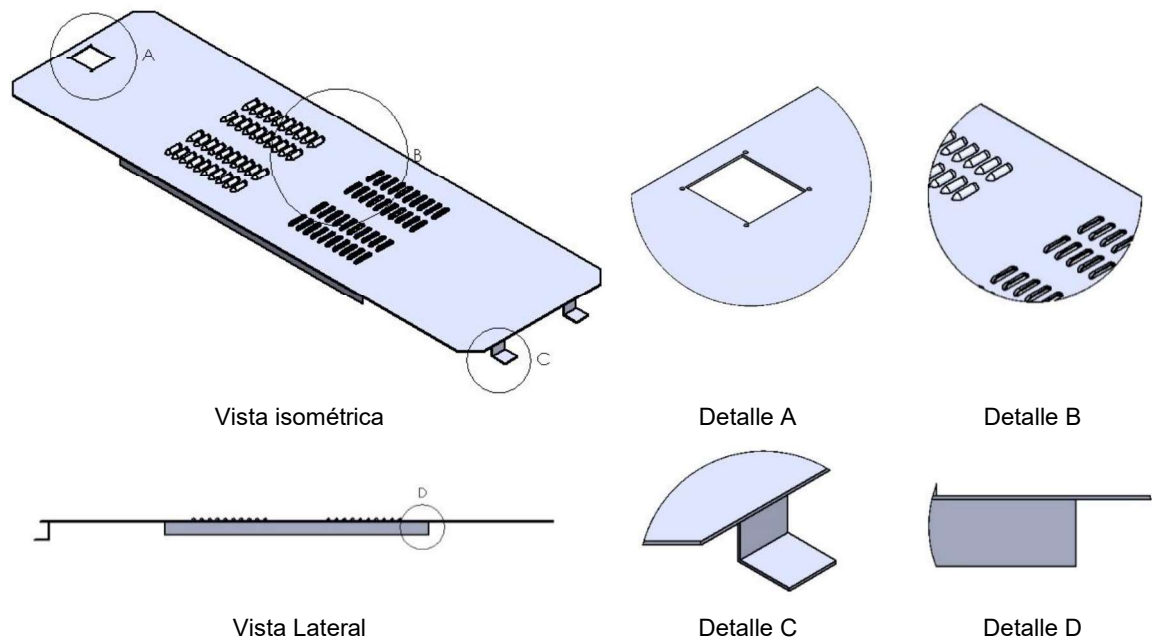
4.5 CUBIERTAS PROTECTORAS

Las cubiertas son diseñadas con el fin de refugiar cada uno de los componentes evitando posibles accidentes en las líneas de ensamblaje, de igual manera limitará la interacción del personal no calificado con el cableado, líneas de comunicación y demás componentes.

Se proveerá de cubiertas superiores que resguardan la parte interna del sistema de transporte terrestre, las cuales estarán conformadas por una serie de pliegues que permitirán la ventilación de los subsistemas (Detalle B, Figura 38) y estarán sujetadas por un par de pestañas en uno de los extremos (Detalle C, Figura 38) y

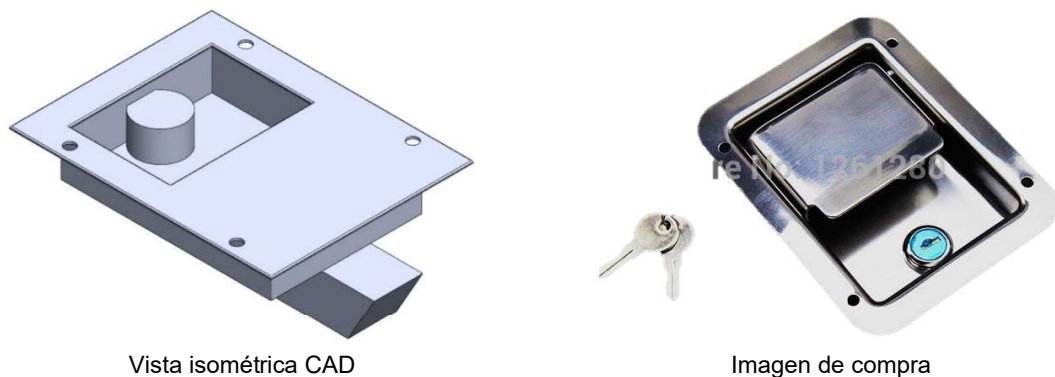
un par de láminas laterales que sirven como guía al momento de ajustar la cubierta (Detalle D, Figura 38).

Figura 38. Cubierta superior



La perforación rectangular ubicada en el extremo e implementada para la instalación de un sistema de seguridad (Detalle A, Figura 38), permitirá que por medio de una llave se garantice el ingreso únicamente del personal de mantenimiento (ver Figura 39)[18].

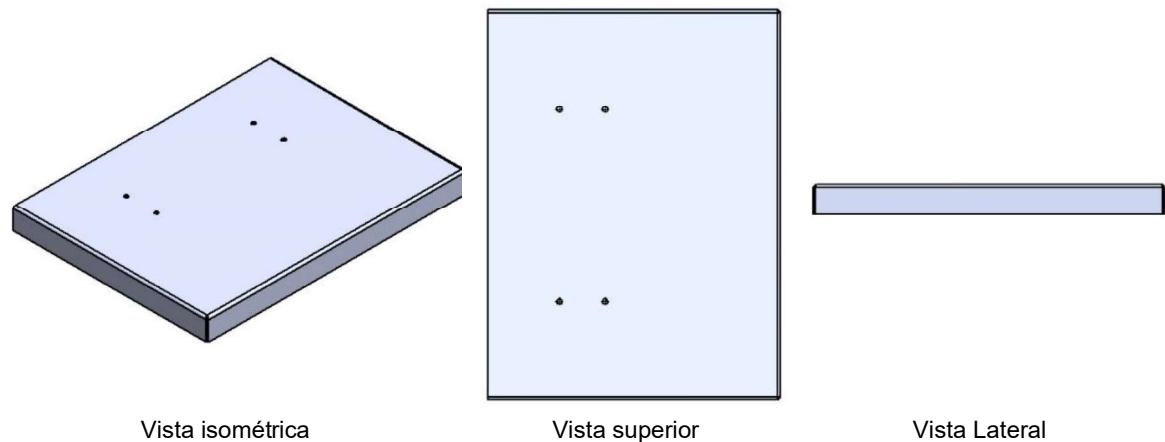
Figura 39. Cerradura Bafail



Fuente: [18]

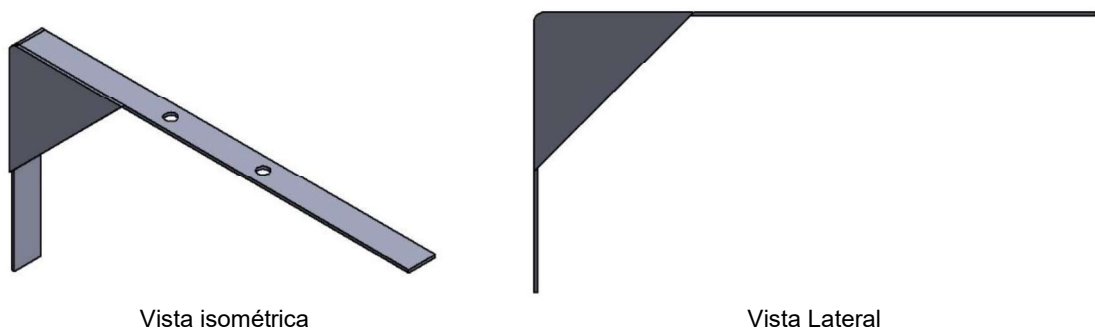
Hay que tener en cuenta que es necesario proteger las ruedas Mecanum de tal manera que se impida cualquier tipo de interferencia con otro tipo de elemento diferente a los que la componen. Cualquier tipo de obstrucción pueden generar daños graves en el sistema de transporte terrestre, en la línea de ensamblaje y en el peor de los casos en los elementos aeronáuticos a transportar. Por tal motivo se ha diseñado un guarda barro que proteja la parte superior en caso de la caída de algún elemento (ver Figura 40).

Figura 40. Guarda barro



De una forma similar se diseña un Angulo de apoyo que sostenga el guarda barro y facilite el acceso al sistema de acoplamiento y a la rueda Mecanum por medio de dos perforaciones que permiten la sujeción por medio de tornillería (ver Figura 41).

Figura 41. Angulo de apoyo

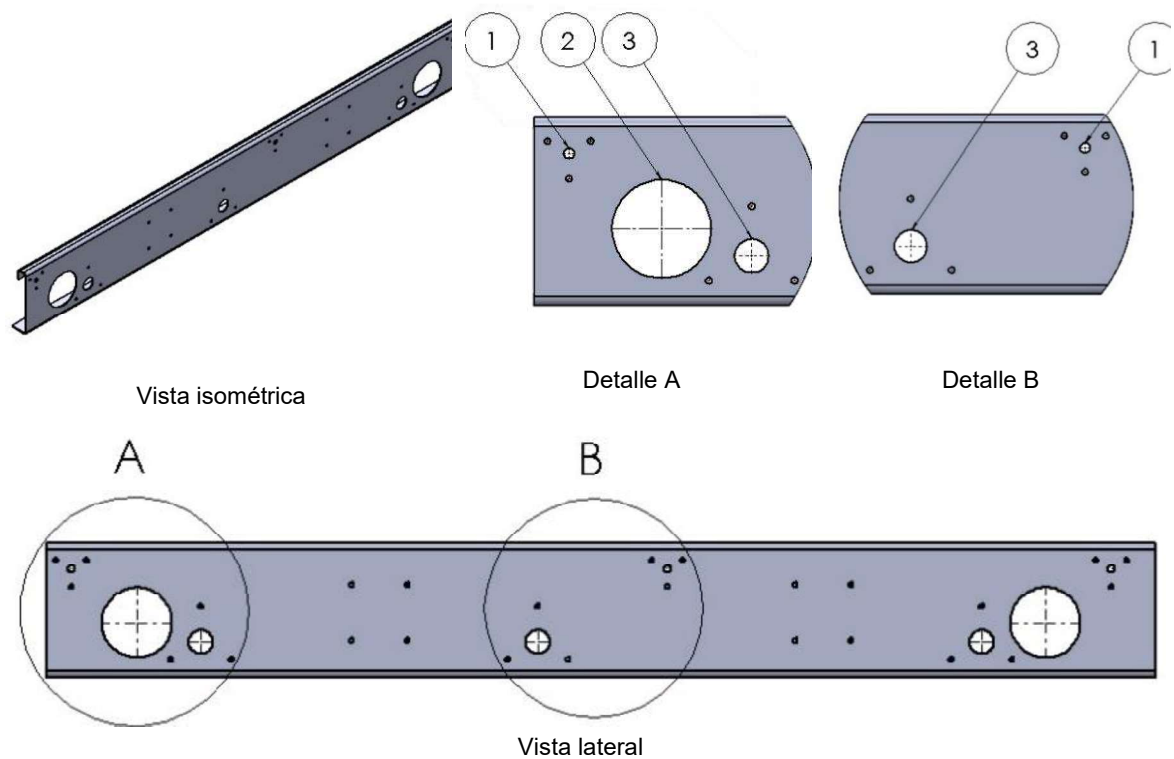


4.6 PROPUESTA FINAL BASTIDOR

La geometría de los largueros ha sido la más modificada ya que al ser la encargada de sostener la mayoría de los subsistemas que componen al sistema de transporte terrestre, esta debe de disponer de las perforaciones necesarias para sostener cada uno de estos y de igual manera aportar la rigidez solicitada. Se puede ver en el

Detalle A que a diferencia del Detalle B cuenta con una perforación adicional dispuesta para el motor y su movimiento al momento de soportar una carga o cualquier tipo de aceleración. A diferencia de lo definido en el Detalle A, en el Detalle B no se cuenta con esta asignación (ver Figura 42). Como se ha mencionado en literales anteriores, el sistema de transporte terrestre solo contará con servomotores ubicados en los extremos.

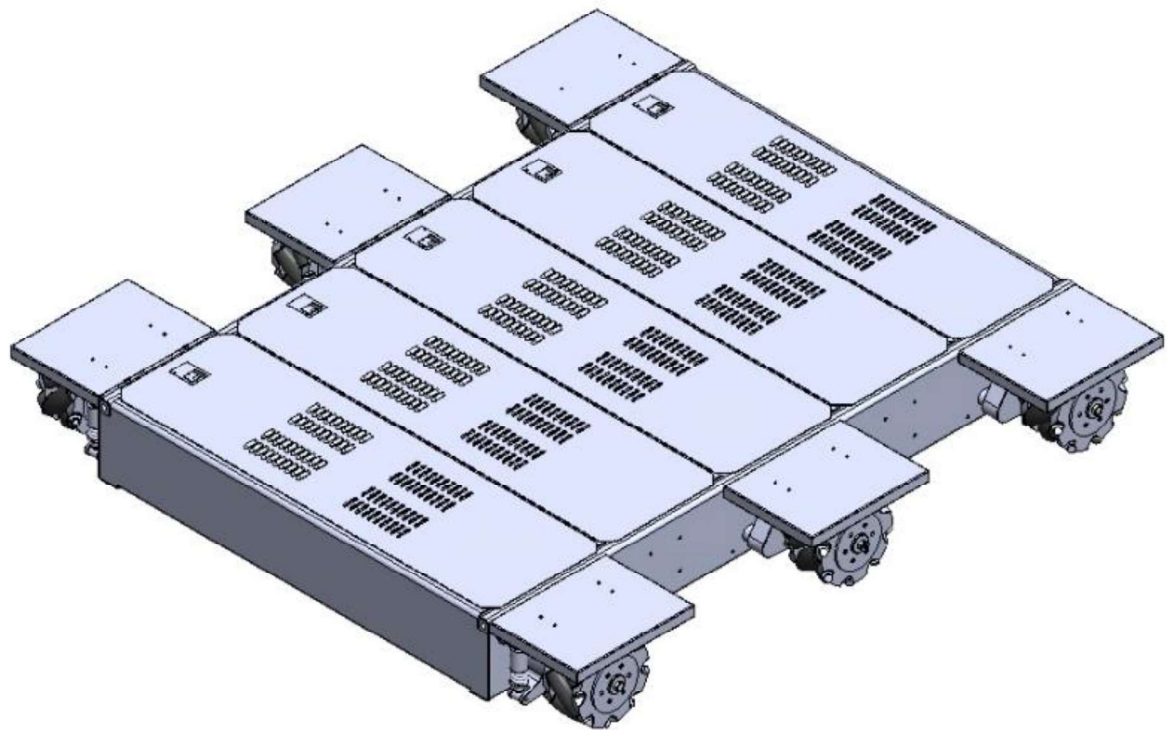
Figura 42. Distribución largueros.



Partes: (1) Chumacera secundaria; (2) Servomotor; (3) Chumacera principal.

Así pues, cada uno de los elementos que hacen parte del sistema de transporte terrestres, serán ubicados dentro del bastidor. Sin embargo, se dispondrá de un espacio para los subsistemas de elevación y control, como se había planteado con anterioridad (ver Figura 43).

Figura 43. Sistema se Transporte Terrestre



Todas las dimensiones del bastidor y cada uno de los componentes se aprecian en el Anexo B.

CAPITULO 5. SIMULACIÓN MECÁNICA DEL BASTIDOR Y EJES DE ACOUPLE POR MEDIO DE ELEMENTOS FINITOS

El diseño CAD del bastidor y los componentes que conforman al chasis se modelaron en la herramienta SolidWorks [19], posteriormente todos los modelos virtuales fueron importados al software de simulación ANSYS [20], en el cual se utilizó el complemento Static Structural la cual cuenta con una interface amigable con el usuario para un desarrollo simple del proceso de simulación, incorporando datos asociados a las características mecánicas del material, las condiciones de frontera y restricciones, así como la facilidad de modificar parámetros dimensionales o físicos que permiten una fácil adquisición de datos y una toma de decisiones más rápida.

Se adopta una metodología que permita obtener resultados en cada uno de los componentes seleccionados por su relevancia y estado crítico, es decir, debido a la particularidad en que las cargas y sujeción actúan sobre estos se hace necesario realizar un análisis estático[1], ya sea que corrobore la integridad estructural del sistema o en caso de falla ya sea por fluencia o fractura permitan realizar cambios en lo definido en la etapa de diseño para sistema de transporte terrestre. Esta metodología está conformada por cuatro (4) etapas:

- Primero se otorgará un tipo y tamaño de malla para cada uno de los componentes siendo cada uno de ellos un caso especial y diferente; la correcta implementación permite el fácil desarrollo del análisis estructural por parte del software y dependiendo del tamaño y concentración presente en la malla aumenta la confiabilidad del resultado, se debe de resaltar que a mayor concentración en la malla mayores deberán ser los recursos computacionales disponibles.
- Segundo se determinan las condiciones de frontera las cuales estarán definidas por el material que otorga las propiedades mecánicas al componente, la forma y el lugar geométrico en que las cargas actuarán y por último los soportes o elementos de sujeción que restringen o permiten el desplazamiento de la pieza analizada.
- Tercero se realiza un análisis de independencia de malla el cual nos permite por medio de una parametrización de datos entre el número de nodos y el esfuerzo máximo obtenido, desarrollar un estudio de convergencia por medio

de la cual se puede calcular el error entre dos puntos consecutivos, y llegar a un resultado confiable con la menor carga computacional posible.

- Cuarto se procede analizar los esfuerzos máximos, deformaciones y factores de seguridad de cada uno de los componentes determinando la viabilidad de este respecto al diseño implementado.

5.1 ANÁLISIS BASTIDOR

Como se ha planteado desde el inicio este es uno de los componentes más importantes para el sistema de transporte terrestre debido a las funciones principales, donde se hace indispensable analizar su comportamiento al soportar desde el peso propio hasta las solicitudes de carga ya definidas.

5.1.1 Tipo de Malla. La malla implementada en el bastidor se ha dividió en varias partes debido a la geometría de las piezas que lo conforman y su función en el sistema.

5.1.1.1 Malla Largueros. Para este elemento se implementó un Patch Conforming Method el cual permite por medio de un algoritmo controlar la forma de la malla y respeta los límites de bordes y vértices dando una tolerancia muy pequeña para este tipo de geometría con elementos en forma de tetraedros [20](ver Figura 44).

5.1.1.2 Malla Frontales, Travesaños y Soportes. En este componente en particular se implementa el mallado por Hex Dominant Method el cual genera una geometría hexagonal dominante dando un mallado más uniforme a lo largo de la geometría[20](ver Figura 45).

Figura 44. Malla Larguero

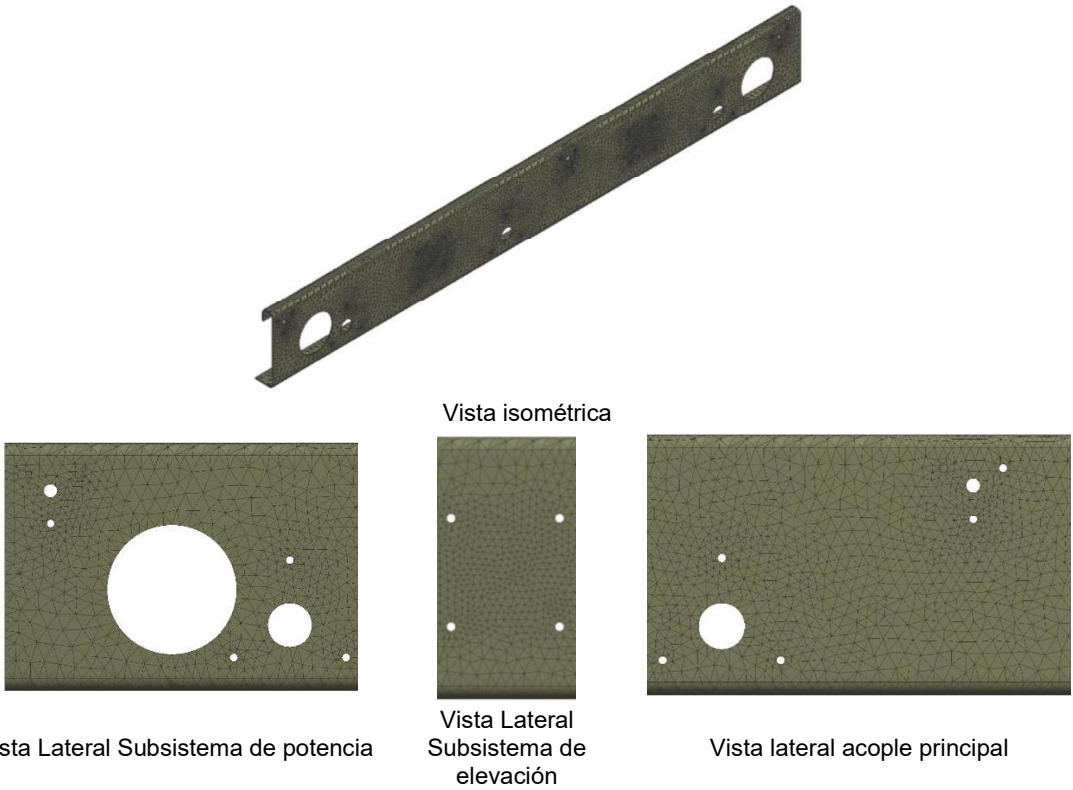
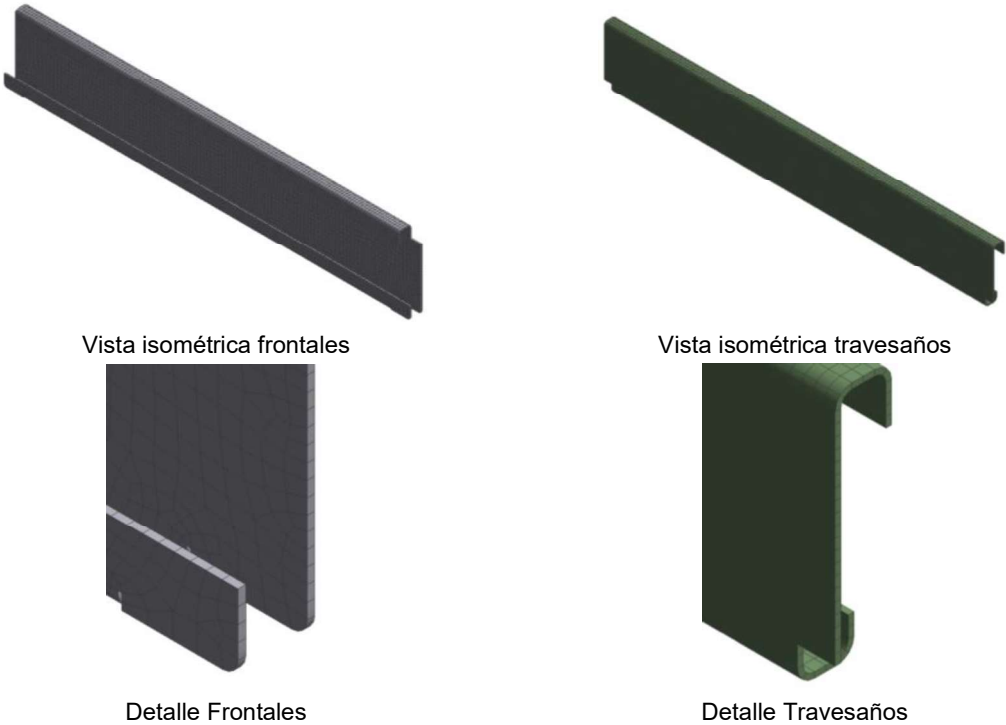
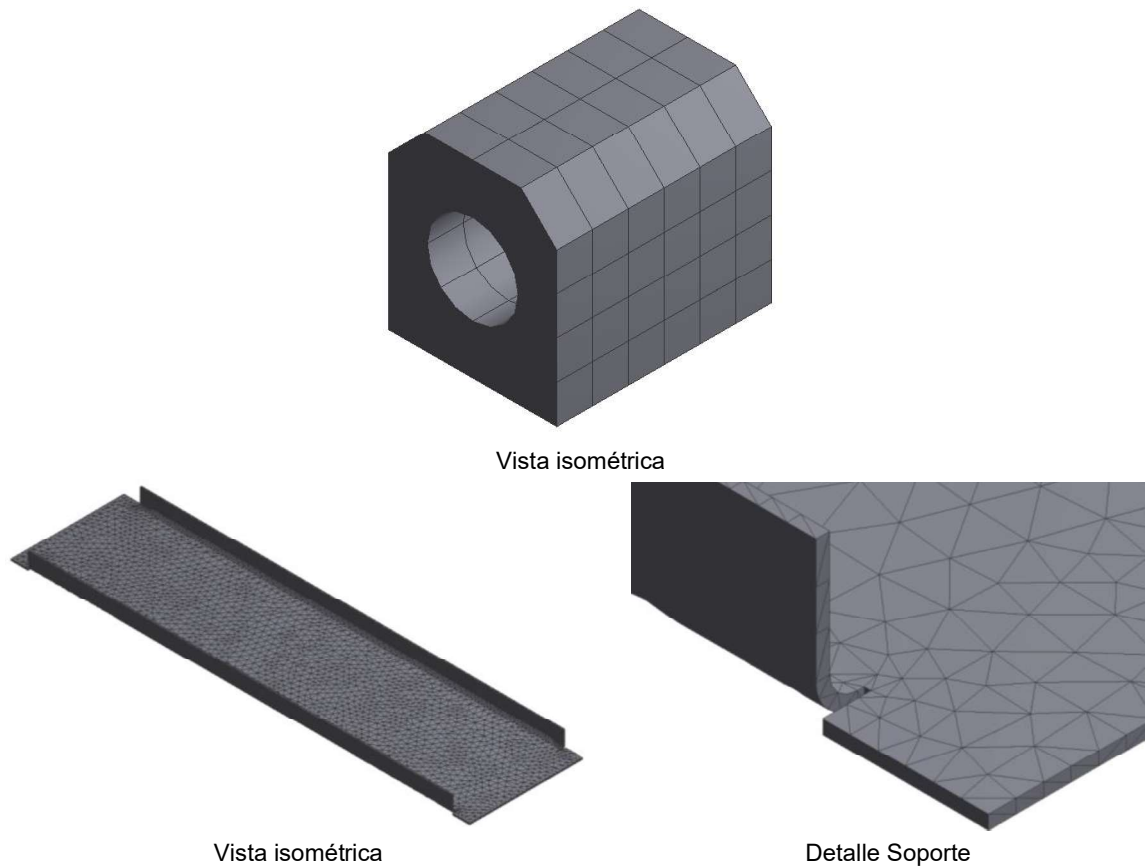


Figura 45. malla Frontales y Travesaños



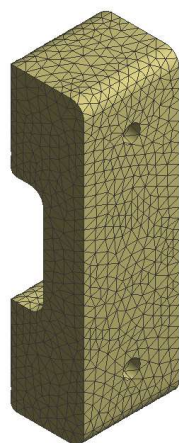
5.1.1.3 Malla Soportes y Bloques de Apoyo. El soporte diseñado para el subsistema de suministro y el bloque diseñado para ayudar a mantener la forma de los largueros se les asigna un mallado con el Patch Conforming Method (ver Figura 46).

Figura 46. Bloque y soporte

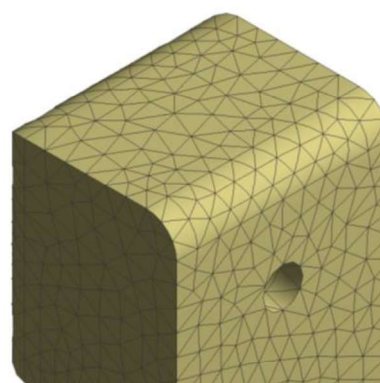


5.1.1.4 Malla “C” de apoyo. Este tipo de apoyo se debe de tratar con especial cuidado ya que cuenta con muchos redondeos y dos perforaciones que darán soporte al sistema de elevación desde el momento que recibe la carga hasta el momento que la eleva, es por eso que se trabajó con el método Body Sizing por medio del cual se controla el tamaño de los elementos y dar una consistencia en todo el objeto (ver Figura 47).

Figura 47. Malla "C" de apoyo



Vista isométrica



Detalle "C" de apoyo

El mallado final para el bastidor del sistema de transporte terrestre se puede ver en la figura 48.

Figura 48. Malla bastidor



5.1.2 Condiciones de frontera

5.1.2.1 Material. Este debe ser un material cuya curva de esfuerzo contra deformación sea una línea recta (material lineal) y que las propiedades mecánicas se comporten de una manera similar en todas las direcciones (material isotrópico), garantizando que los esfuerzos que se presentan en la estructura metálica no superan el límite elástico, sobre todo con materiales que al ser para la industria aeronáutica sus propiedades mecánicas no son sacadas de valores promedios si no de pruebas específicamente diseñadas para obtener datos como límites de fluencia, entre otros[21].

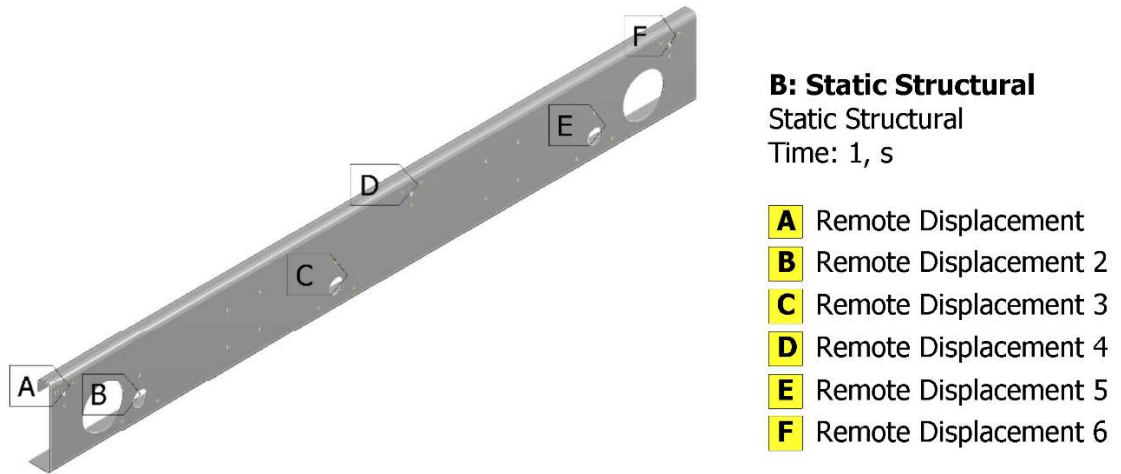
para cumplir con este propósito se escoge una aleación de aluminio 6061-T6 (ver Tabla 7)[22].

Tabla 7. Propiedades mecánicas Aleación de Aluminio

Propiedades	Valor	Unidad
Densidad	2770	Kg/m ³
Módulo de Young	7,1E10	Pa
Factor de Poisson	0,33	-
Límite elástico	2,8E8	Pa
Esfuerzo último a compresión	0	Pa
Esfuerzo último a tracción	3,1E8	Pa

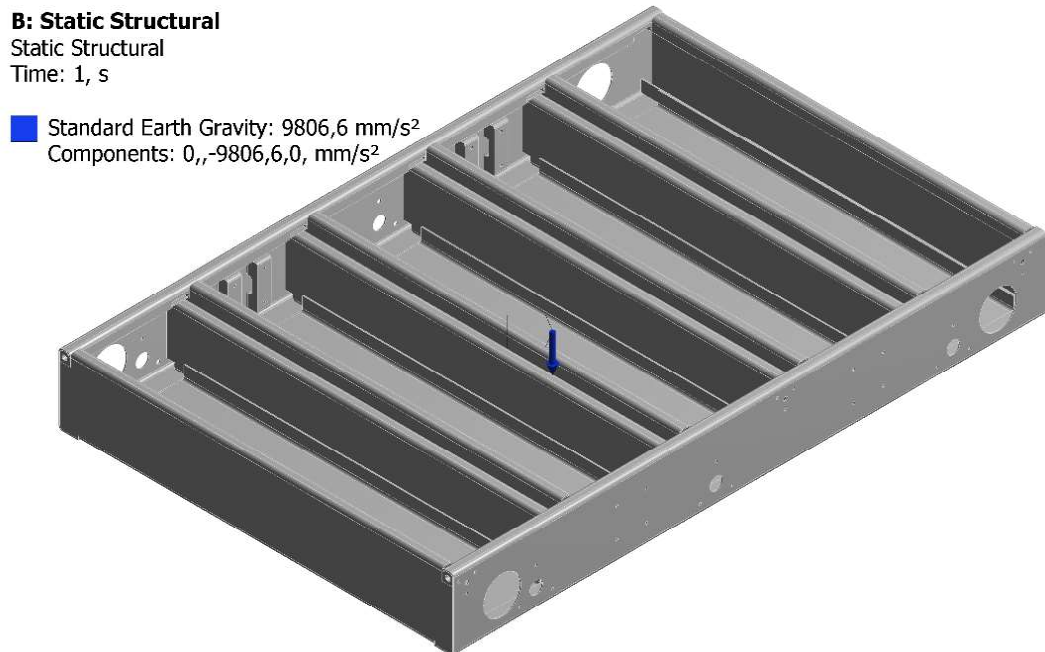
5.1.2.2 Soportes. Los soportes designados para el bastidor estarán ubicados en los largueros, más específicamente en las perforaciones circulares ubicadas de forma triangular de la chumacera principal y secundaria. Estas serán las encargadas de sostener a los subsistemas de potencia y acople principal. El tipo de soporte seleccionado es el remote displacement tal y como se puede ver en la Figura 49.

Figura 49. Soporte bastidor



5.1.2.3 Cargas. El bastidor tendrá tres tipos de cargas distintas empezando por el peso propio de la estructura; como se cuenta con la densidad del material y el diseño, el software nos asigna el peso de este con solo agregar la gravedad (ver Figura 50), el peso total del bastidor es de 337,86kg.

Figura 50. Gravedad en el bastidor



La carga suministrada por las baterías del subsistema para el suministro, será dividida en los tres módulos intermedios (ver Figura 51), en este caso se maneja un factor de seguridad de dos, es decir, se duplica el peso normal del conjunto de baterías seleccionada. Este contará con dos módulos que soportaran 230 kg y uno de 154 kg (ver Figura 51).

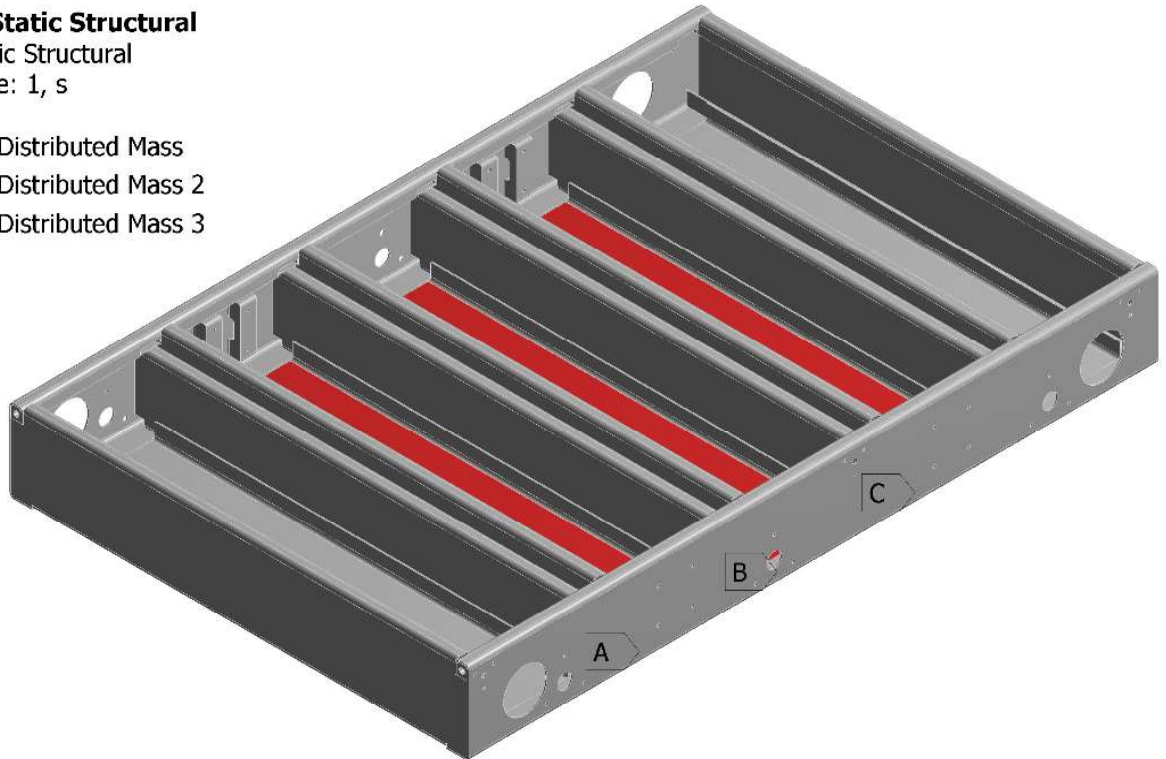
Figura 51. Distribución Peso Baterías

B: Static Structural

Static Structural

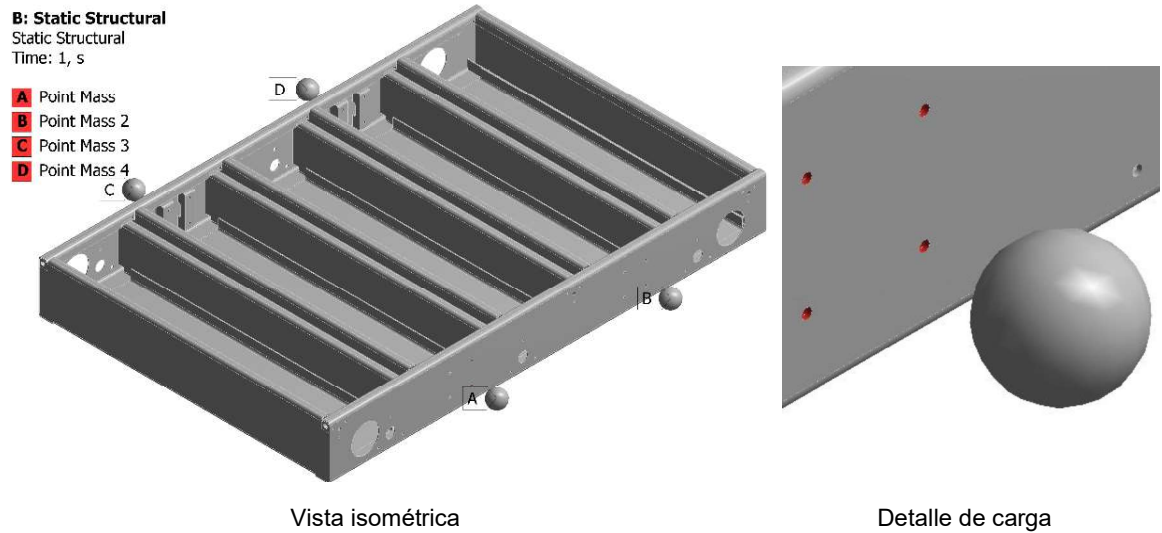
Time: 1, s

- A** Distributed Mass
- B** Distributed Mass 2
- C** Distributed Mass 3



la carga de los componentes aeronáuticos se tomará con un valor de 3000 kilogramos el cual se ve representado por una esfera (ver Figura 52), y se distribuirán sobre los cuatro (4) puntos del sistema de elevación ubicados en cada uno de los largueros.

Figura 52. Carga amortiguador

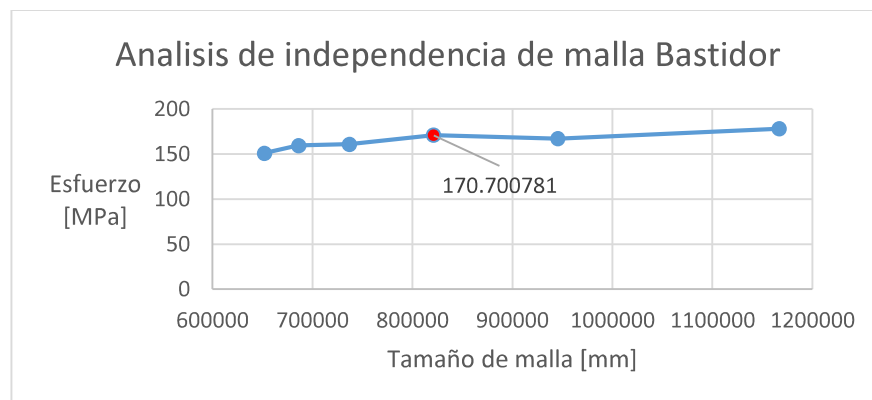


5.1.3 Análisis de independencia de malla. Se realiza el análisis y se pueden ver los resultados en la Tabla 8 y la Figura 53

Tabla 8. Convergencia del bastidor

Nombre	Tamaño de elemento de malla	Nodos en la malla	Esfuerzo equivalente máximo	Error
Unidades	mm		MPa	%
DP 1	20	651761	150,9091709	5,64%
DP 2	19	686025	159,4130785	0,82%
DP 3	18	736998	160,7273739	6,21%
DP 4	16	821271	170,700781	-2,12%
DP 5	14	945433	167,080694	6,60%
DP 6	12	1166741	178,1041994	

Figura 53. Grafica de convergencia bastidor

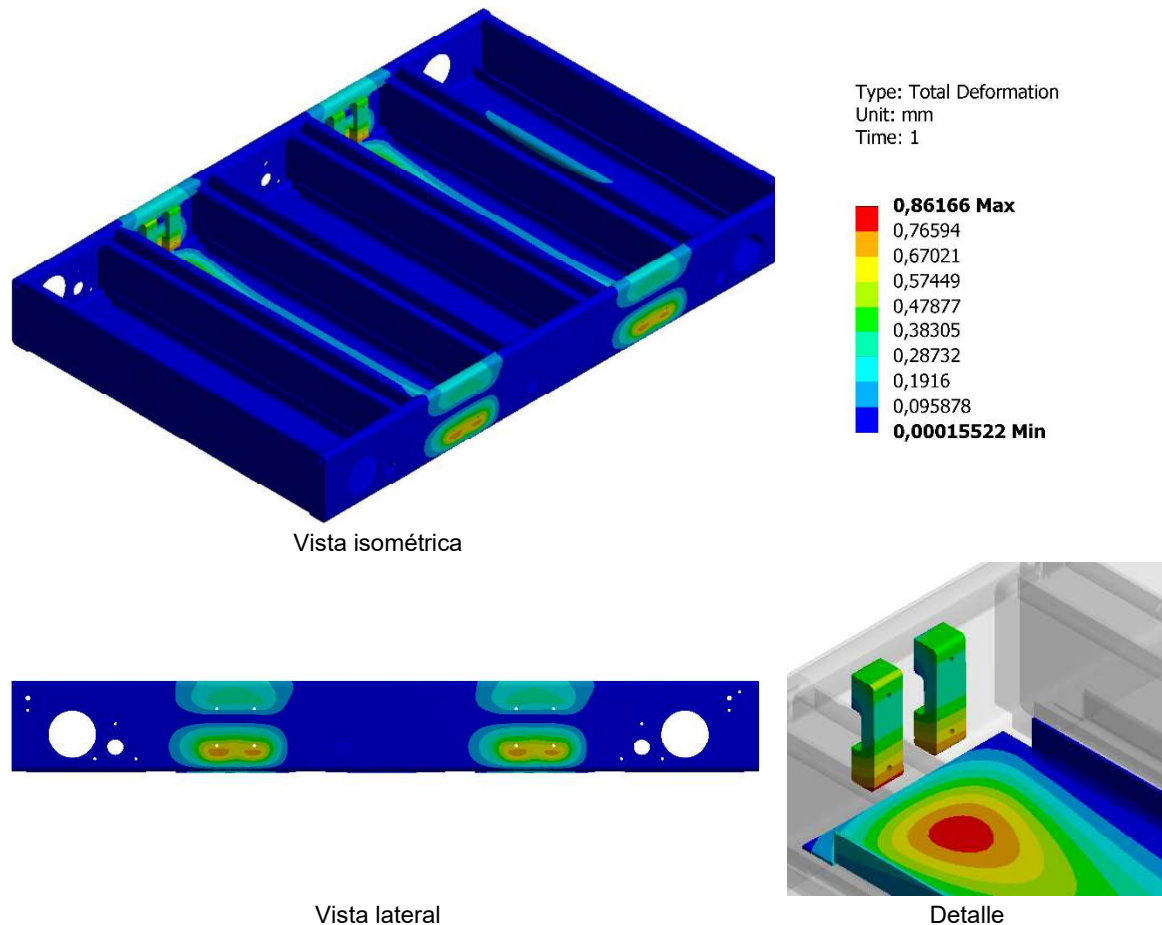


Se toma como punto de referencia para la simulación DP 4, ya que con un error relativo menor al 3% y su comportamiento grafico es constante a medida que aumenta el número de nodos.

5.1.4 Resultados de la simulación

5.1.4.1 Deformación. Este sufre una deformación máxima de 0,8616 mm (ver Figura 54).

Figura 54. Deformación bastidor



5.1.4.2 Esfuerzo. Este cuenta con un esfuerzo máximo de 170,7 MPa (ver Figura 55).

5.1.4.3 Factor de seguridad. Este cuenta con un factor de seguridad de 1,64 (ver Figura 56).

Figura 55. Esfuerzo bastidor

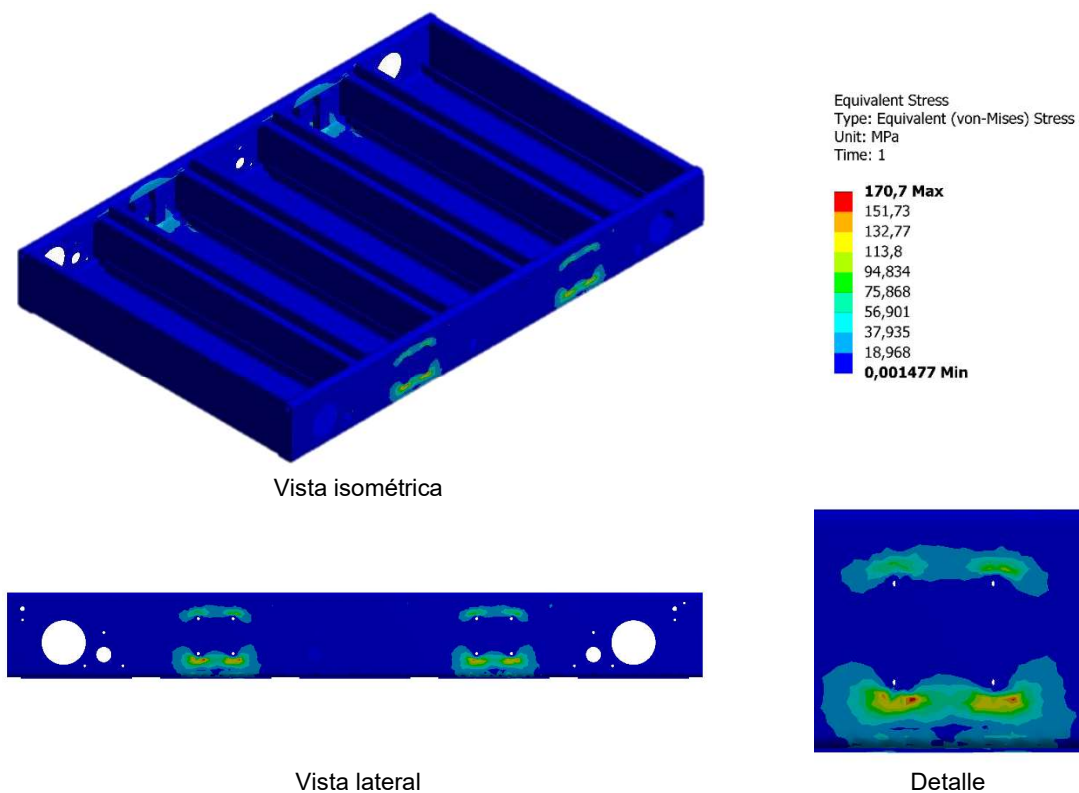
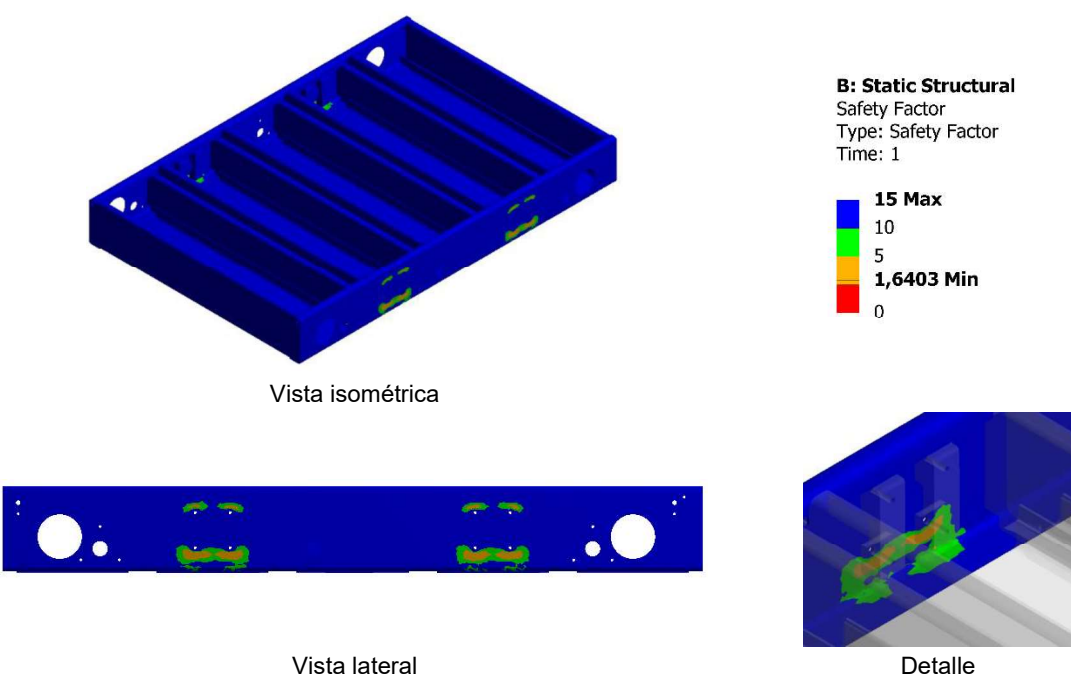


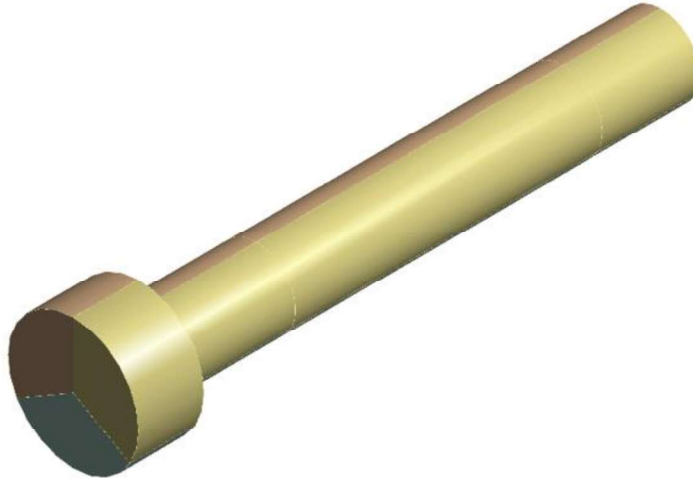
Figura 56. Factor de seguridad bastidor



5.2 ANÁLISIS EJE INFERIOR AMORTIGUADOR

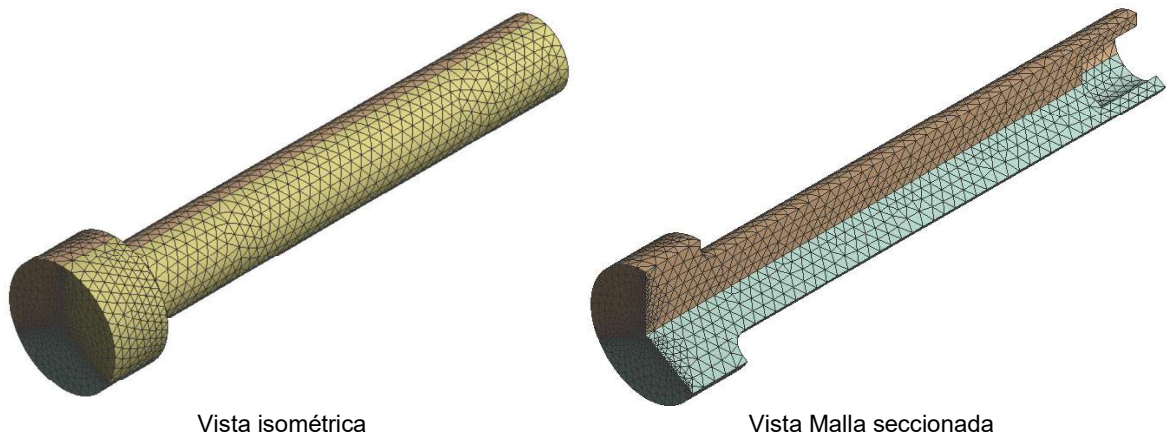
Es el encargado de transmitir en primera instancia la reacción dada por el acople principal al amortiguador seleccionado ($R=10965\text{ N}$), esto sumado diámetro con el que cuenta este eje ($d=12\text{ mm}$) delimitado por las características del amortiguador seleccionado lo convierte en un elemento crítico el cual requiere un análisis (ver Figura 57)[1].

Figura 57. Eje inferior amortiguador



5.2.1 Tipo de Malla. El tipo de malla para este componente es el Multizone es una técnica de mallado independiente, realiza la malla por medio de un barrido y de forma tetraédrica(ver Figura 58)[20].

Figura 58. Malla eje inferior amortiguador



5.2.2 Condiciones de frontera

5.2.2.1 Material. Para este elemento se determinó un acero AISI SAE 4340 recocido, cuenta con alta tenacidad, ideal para piezas de ingeniería como engranajes, pernos y bielas(ver Tabla 9)[23].

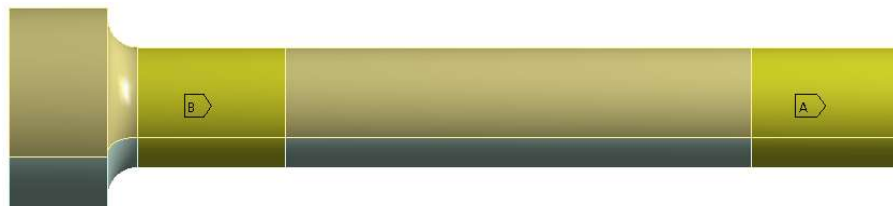
Tabla 9. Propiedades mecánicas acero AISI SAE 4340

Propiedades	Valor	Unidad
Densidad	7800	Kg/m ³
Módulo de Young	2,05E11	Pa
Factor de Poisson	0,285	-
Limite elástico	4,2E8	Pa
Esfuerzo ultimo a compresión	4,2E8	Pa
Esfuerzo ultimo a tracción	6,7E8	Pa

5.2.2.2 Soporte. Este cuenta con dos soportes en los extremos dado por las pestanas del acople principal (ver Figura 59), que le darán apoyo al momento de transferir la carga desde o hacia el amortiguador y se realiza por medio de la opción remote displacement (ver Figura 59).

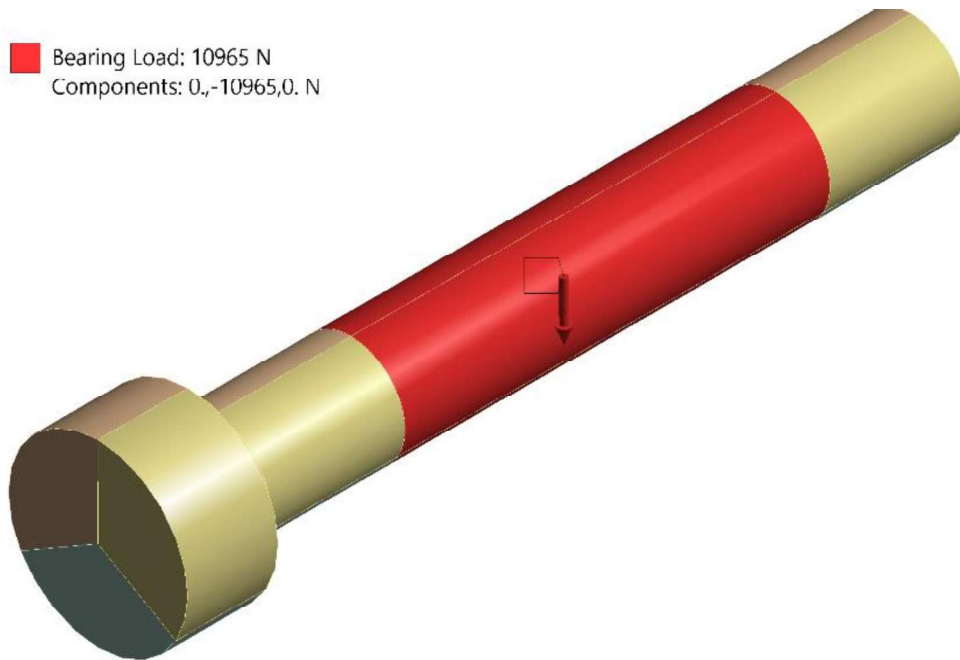
Figura 59. Soporte eje inferior amortiguador

A Remote Displacement
B Remote Displacement 2



5.2.2.3 Cargas. La carga estará ubicada en la mitad del eje y se ubica por medio de la herramienta Bearing Load la cual permite simular la carga en forma de anillo de sujeción, es decir, aplica la carga solo en dirección radial (ver Figura 60)[20].

Figura 60. Carga eje inferior amortiguador.

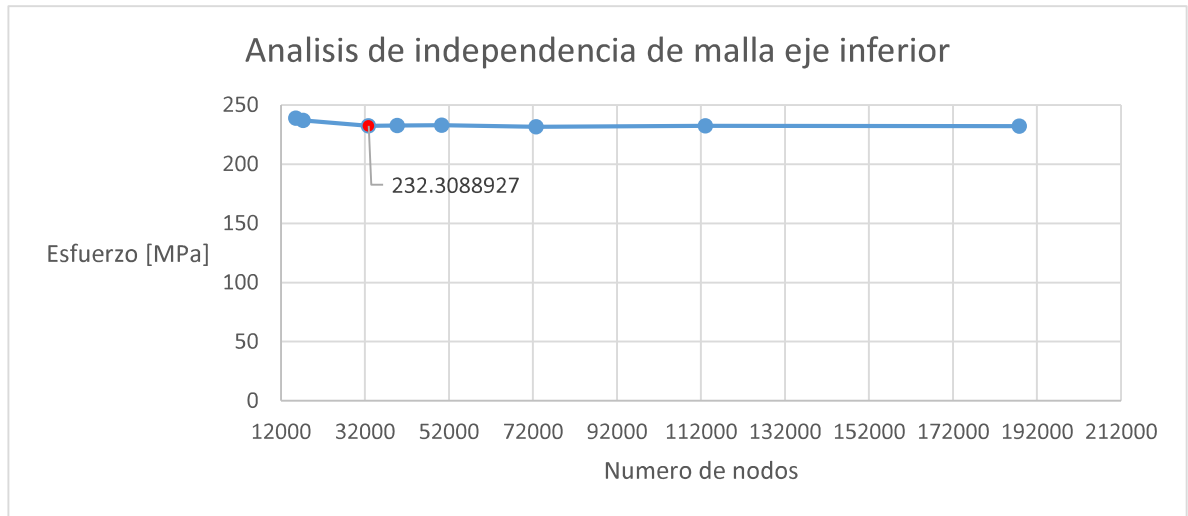


5.2.3 Análisis de independencia de malla. Se realiza el análisis. Los resultados se pueden observar en la Tabla 10 y en la Figura 61.

Tabla 10. Convergencia eje inferior amortiguador

Nombre	Tamaño de elemento de malla	Nodos en la malla	Esfuerzo equivalente máximo	Error
Unidades	mm		MPa	%
DP 1	3	15489	239,0242335	-0,80%
DP 2	2,5	17311	237,123107	-2,03%
DP 3	2	32868	232,3088927	0,20%
DP 4	1,8	39710	232,7755818	0,09%
DP 5	1,6	50229	232,993986	-0,64%
DP 6	1,4	72713	231,4988655	0,41%
DP 7	1,2	113025	232,4533	-0,17%
DP 8	1	187797	232,0646843	

Figura 61. Grafica convergencia eje inferior amortiguador

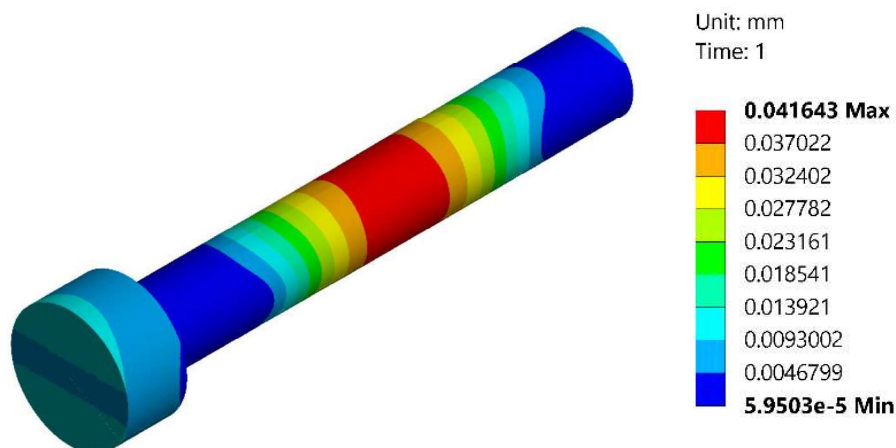


Se toma como punto de referencia para la simulación DP 3, ya que con un error relativo menor al 3% y su comportamiento grafico es constante a medida que aumenta el número de nodos.

5.2.4 Resultados de la simulación

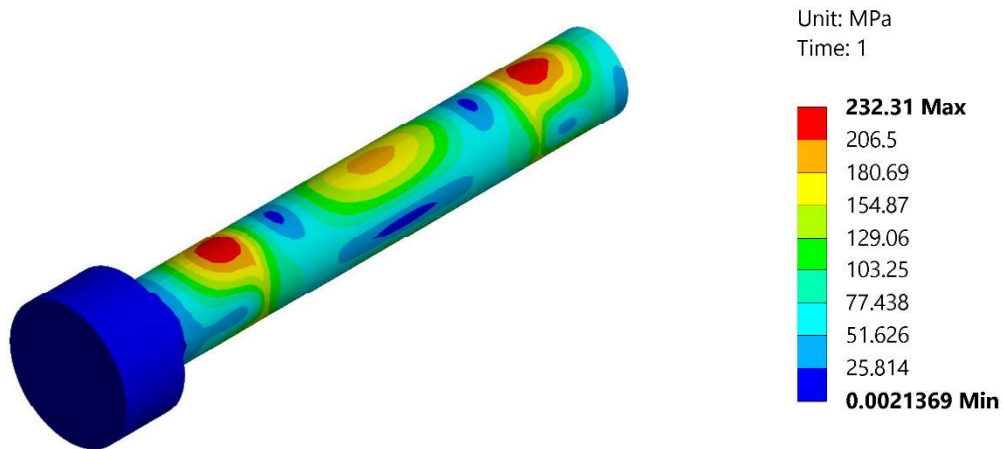
5.2.4.1 Deformación. Este sufre una deformación máxima de 0,04 mm (ver Figura 62).

Figura 62. Deformación eje inferior amortiguador



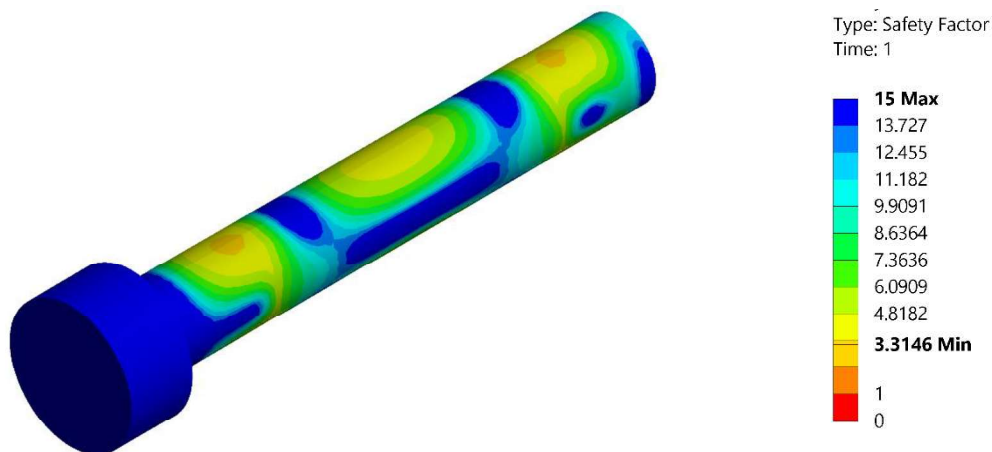
5.2.4.2 Esfuerzo. Este cuenta con un esfuerzo máximo de 232,31 MPa (ver Figura 63).

Figura 63. Esfuerzo eje inferior amortiguador



5.2.4.3 Factor de seguridad. Este cuenta con un factor de seguridad de 3,31 (ver Figura 64).

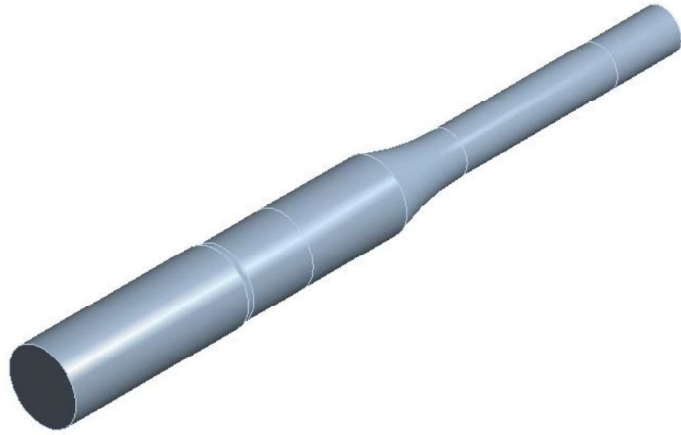
Figura 64. Factor de seguridad eje inferior amortiguador



5.3 ANÁLISIS EJE SUPERIOR SUSPENSIÓN

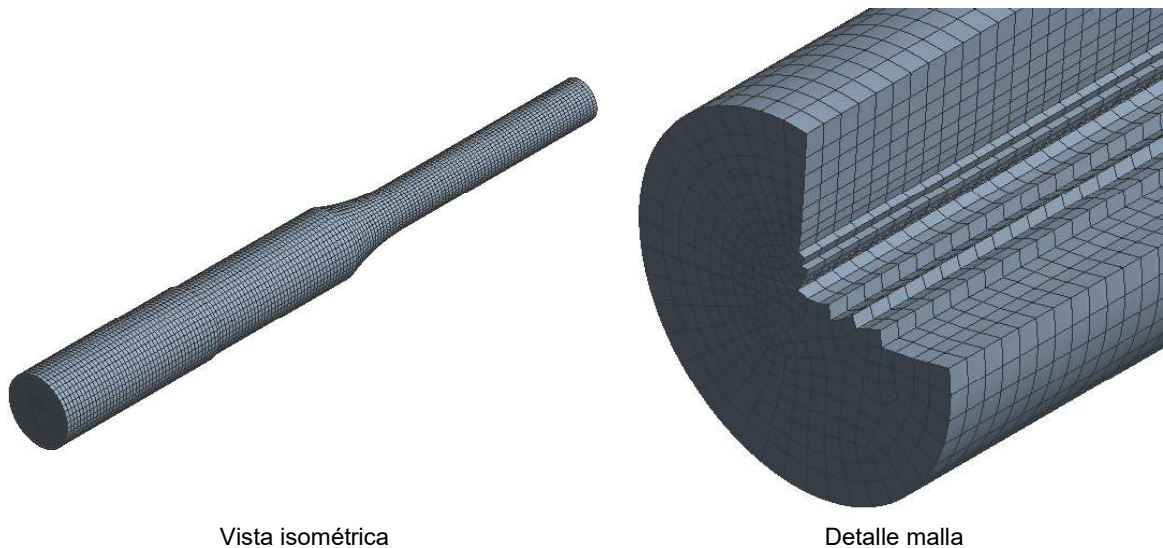
Este componente es el más crítico ya que recibe la carga desde el amortiguador, su comportamiento es el de una viga en voladizo, es decir solo cuenta con apoyo en uno de los extremos, cuenta con un diámetro de 12 mm y como último parámetro cuenta con una reducción de diámetro de 60% (ver Figura 65)

Figura 65. Eje superior amortiguador



5.3.1 Tipo de Malla. Se selecciona la opción de enmallado Body Sizing la cual permite limitar el tamaño de los elementos de conformado (ver Figura 66).

Figura 66. Malla eje superior amortiguador



5.3.2 Condiciones de frontera

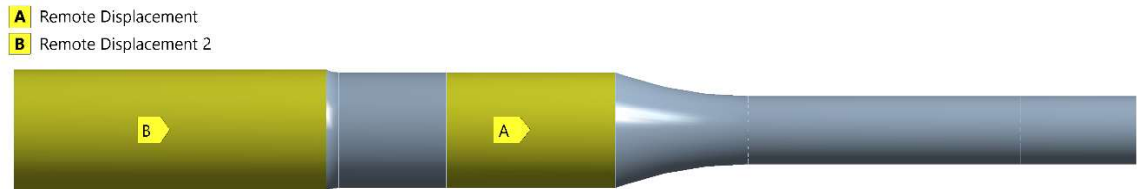
5.3.2.1 Material. Este eje está conformado por un acero AISI 6150 templado a 205 °C en aceite, usado principalmente en la industria automotriz, como material para herramientas, ejes y engranajes (ver Tabla 11)[23]

Tabla 11. Tabla propiedades acero AISI SAE 6140

Propiedades	Valor	Unidad
Densidad	7900	Kg/m ³
Módulo de Young	2,12E11	Pa
Factor de Poisson	0,295	-
Limite elástico	1,86E9	Pa
Esfuerzo ultimo a compresión	1,86E9	Pa
Esfuerzo ultimo a tracción	2,13E9	Pa

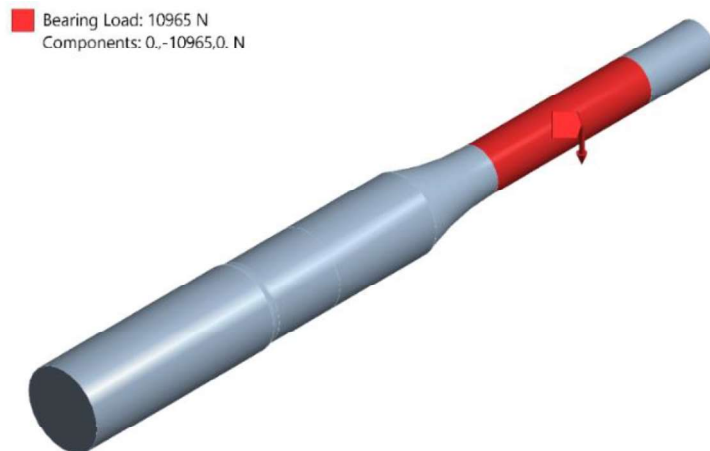
5.3.2.2 Soporte. Se conforma por dos soportes uno el soporte A dado por la chumacera secundaria y el soporte B por un apoyo de contacto con el larguero del bastidor ambos dados en la simulación como un Remote Displacement (ver Figura 67)

Figura 67. Soporte eje superior amortiguador



5.3.2.3 Cargas. La carga está dispuesta al final del eje por medio de un Bearing Load (ver Figura 68)

Figura 68. Carga eje superior amortiguador

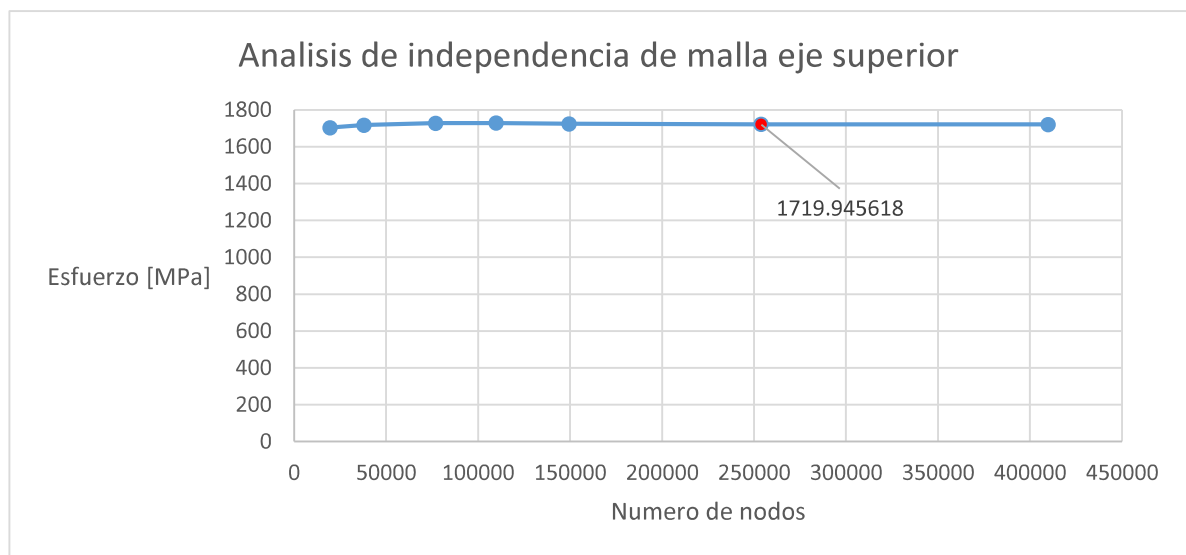


5.3.3 Análisis de independencia de malla. Se realiza el análisis. Los resultados se pueden observar en la Tabla 12 y la Figura 69.

Tabla 12. Convergencia eje superior amortiguador

Nombre	Tamaño de elemento de malla	Nodos en la malla	Esfuerzo equivalente máximo	Error
Unidades	mm		MPa	%
DP 1	3	19454	1702,707412	81,15%
DP 2	2,5	37880	1716,525476	61,47%
DP 3	1,8	76891	1727,077257	1,94%
DP 4	1,6	109888	1727,412325	-22,93%
DP 5	1,4	149535	1723,450992	-20,34%
DP 6	1,2	253924	1719,945618	2,62%
DP 7	1	409881	1720,396354	

Figura 69. Grafica convergencia eje superior amortiguador

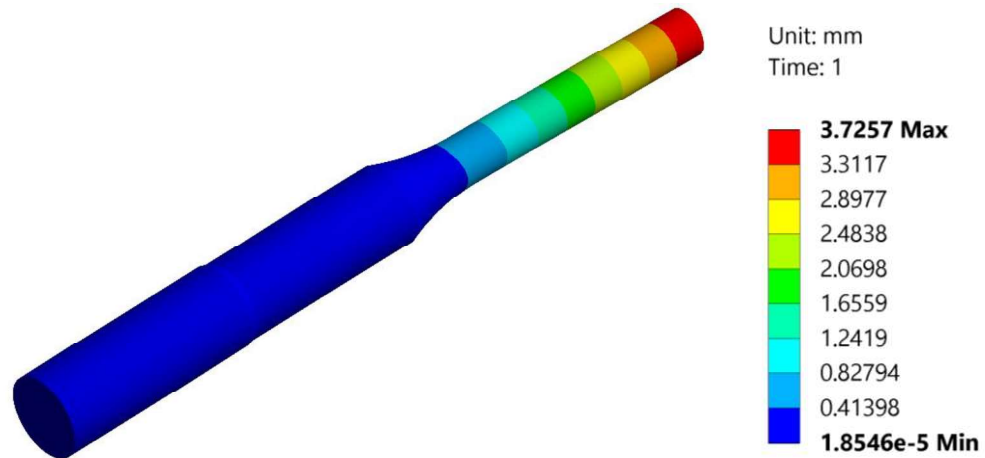


Se toma como punto de referencia para la simulación DP 6, ya que con un error relativo menor al 3% y su comportamiento grafico es constante a medida que aumenta el número de nodos.

5.3.4 Resultados de la simulación

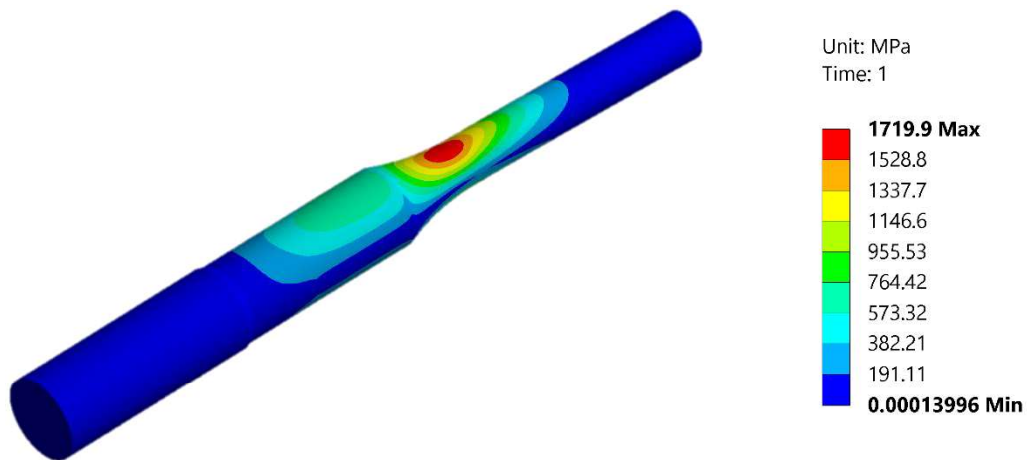
5.3.4.1 Deformación. Este sufre una deformación máxima de 3,7 mm (ver Figura 70).

Figura 70. Deformación eje superior amortiguador



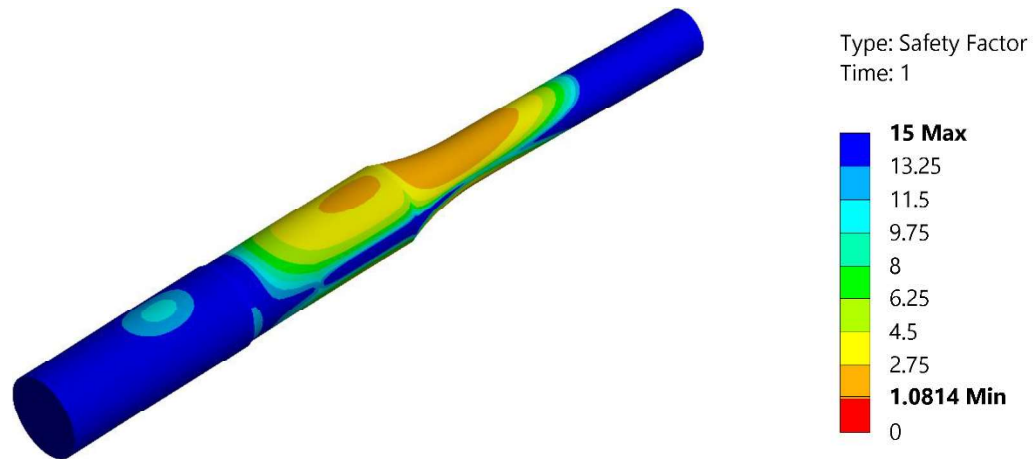
5.3.4.2 Esfuerzo. Este cuenta con un esfuerzo máximo de 1719,9 MPa (ver Figura 71).

Figura 71. Esfuerzo eje superior amortiguador



5.3.4.3 Factor de seguridad. Este cuenta con un factor de seguridad de 1,08 (ver Figura 72).

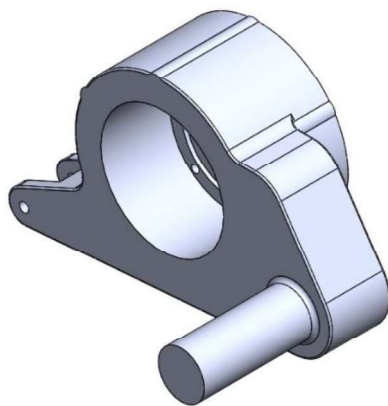
Figura 72. Factor de seguridad eje superior amortiguador



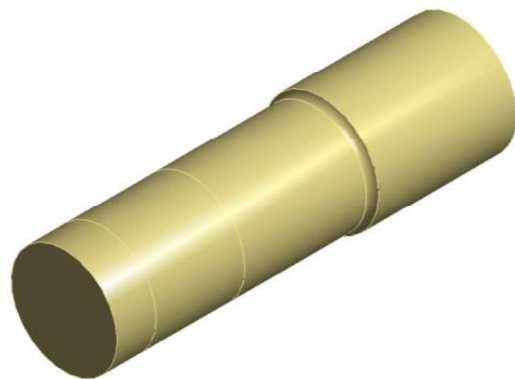
5.4 ANÁLISIS EXTRUSIÓN CILÍNDRICA

La extrusión cilíndrica es la encargada de servir de pivote y soportar la mayoría de la carga que recibe en cada uno los apoyos del sistema de transporte terrestre, tendrá el comportamiento de una viga en voladizo y para este caso en particular no se analizará solo la parte cilíndrica por medio de cargas remotas (ver Figura 73).

Figura 73. Acople principal



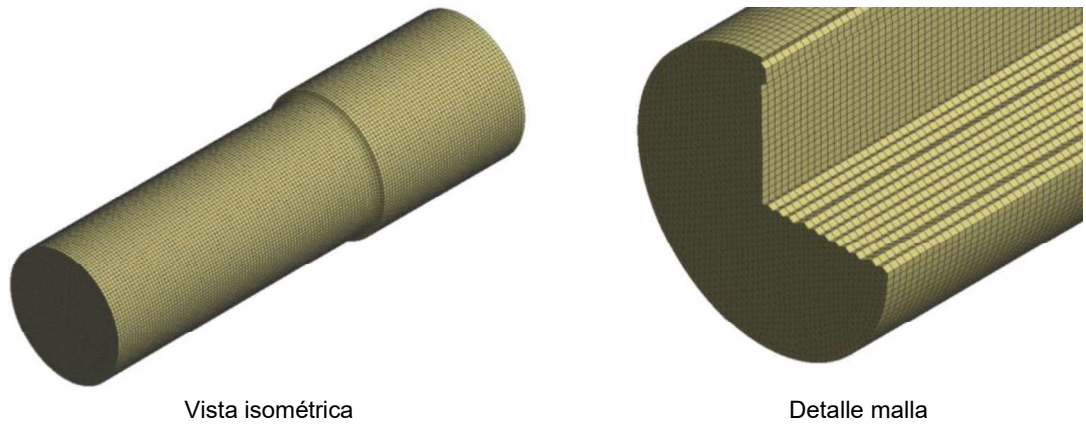
Vista isométrica acople principal



Vista isométrica corte extrusión

5.4.1 Tipo de Malla. Se ha usado el conformado de malla con la herramienta Multizone, permitiendo realizar un tipo de malla uniforme con forma de elemento tetraédrico como dominante (ver Figura 74).

Figura 74. Malla Extrusión Cilíndrica



5.4.2 Condiciones de frontera

5.4.2.1 Material. Tendrá un material AISI SAE 4340 recocido (ver Tabla 9)

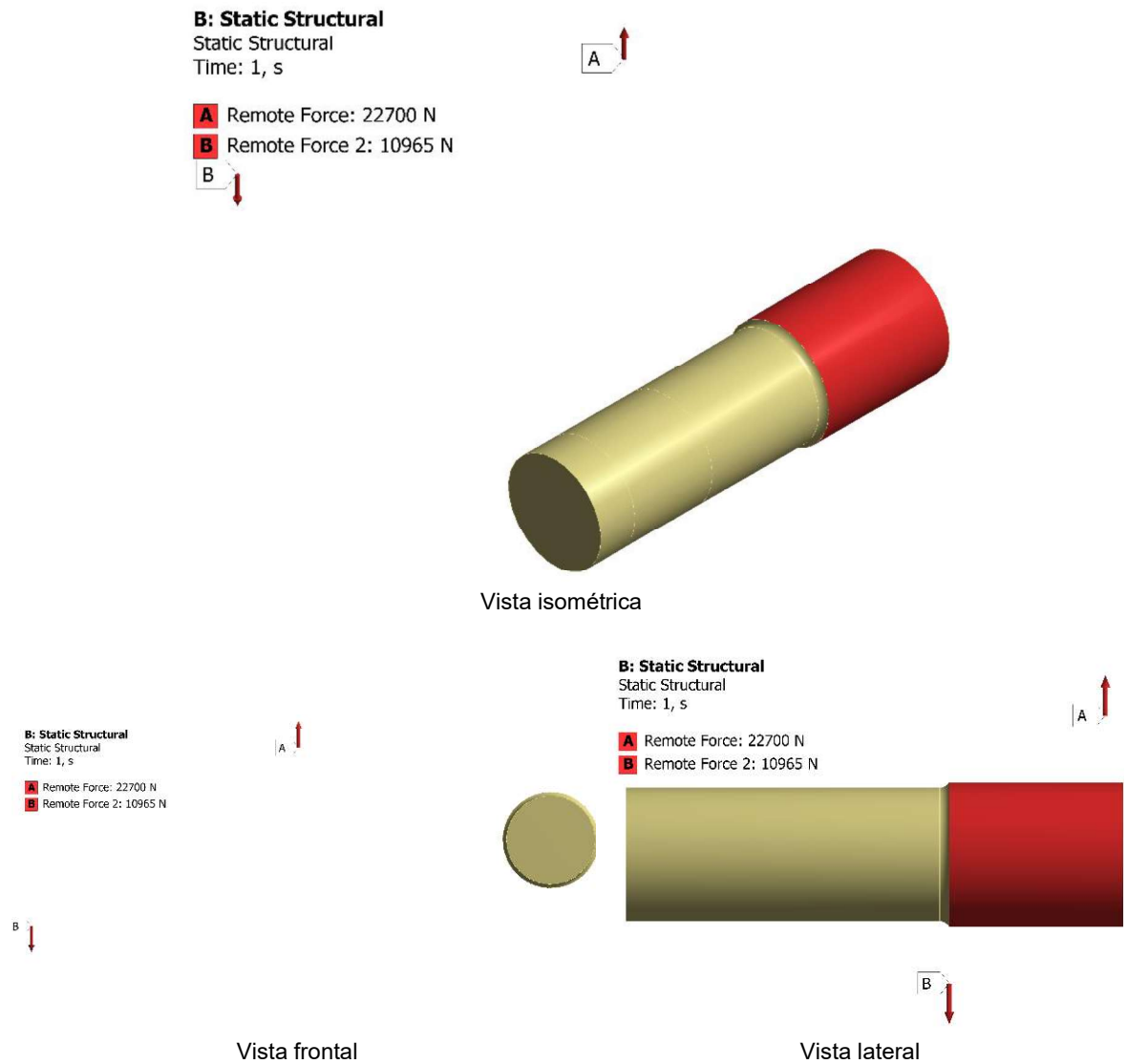
5.4.2.2 Soporte. Dispone de dos soportes el soporta A estará acompañado de la chumacera principal y el soporte B es el conformado con el acople principal, ambos dados en la simulación como un Remote Displacement (ver Figura 75)

Figura 75. Soporte extrusión



5.4.2.3 Cargas. Las cargas estarán conformadas por las reacciones y cargas vistas en el Anexo A y se disponen en el análisis por medio de la opción Remote Force, la cual permite dar las coordenadas de la ubicación de la fuerza que afectara la extrusión y la magnitud de la misma (ver Figura 76).

Figura 76. Carga extrusión

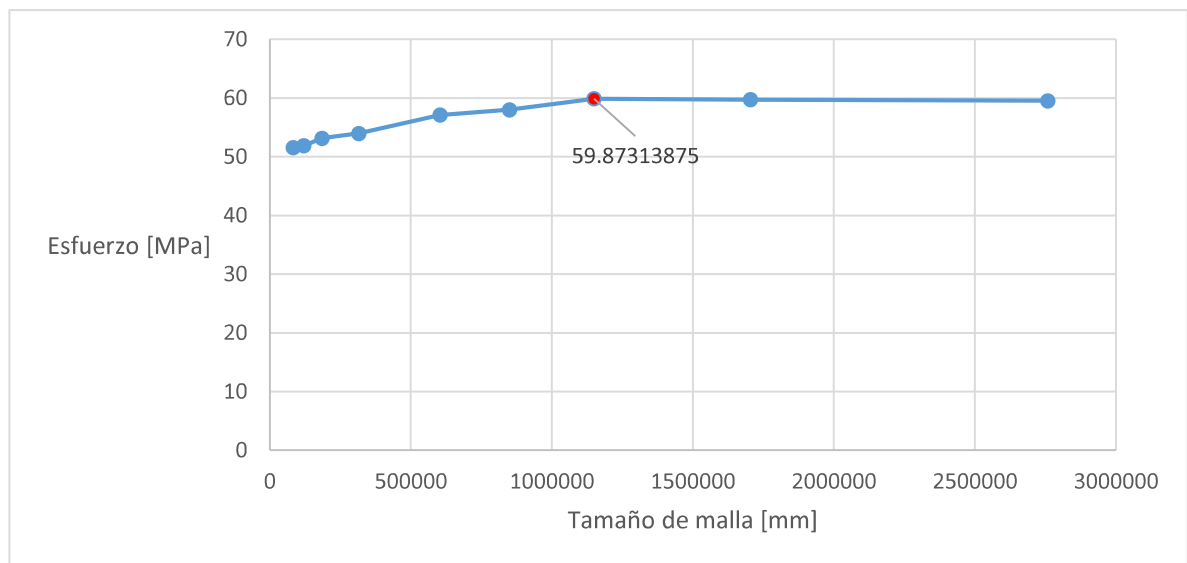


5.4.3 Análisis de independencia de malla. Se realiza el análisis. Los resultados se pueden observar en la Tabla 13 y la Figura 77.

Tabla 13. Convergencia extrusión

Nombre	Tamaño de elemento de malla	Nodos en la malla	Esfuerzo equivalente máximo	Error
Unidades	mm		MPa	%
DP 1	4	82812	51,55317435	0,59%
DP 2	3,5	120468	51,85989533	2,44%
DP 3	3	184689	53,12346199	1,58%
DP 4	2,5	315781	53,96101467	5,78%
DP 0	2	603597	57,07948676	1,57%
DP 5	1,8	850613	57,97352197	3,28%
DP 6	1,6	1150085	59,87313875	0,29%
DP 7	1,4	1704323	59,70153695	0,30%
DP 8	1,2	2758708	59,52374870	

Figura 77. Grafica convergencia extrusión



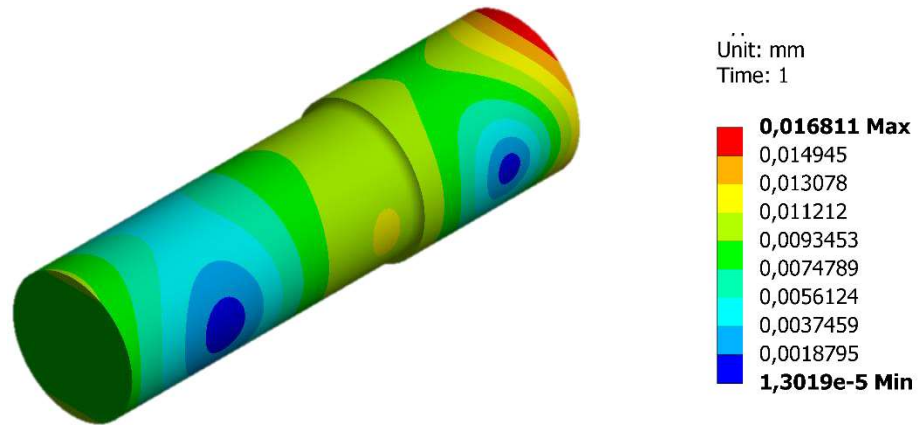
Fuente: AUTOR

Se toma como punto de referencia para la simulación DP 6, ya que con un error relativo menor al 3% y su comportamiento gráfico es constante a medida que aumenta el número de nodos.

5.4.4 Resultados de la simulación

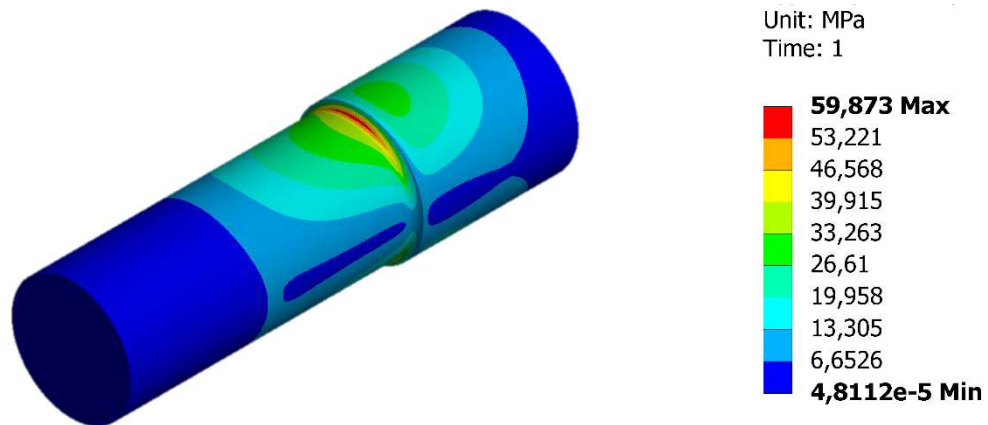
5.4.4.1 Deformación. Este sufre una deformación máxima de 0,016 mm (ver Figura 78).

Figura 78. Deformación extrusión



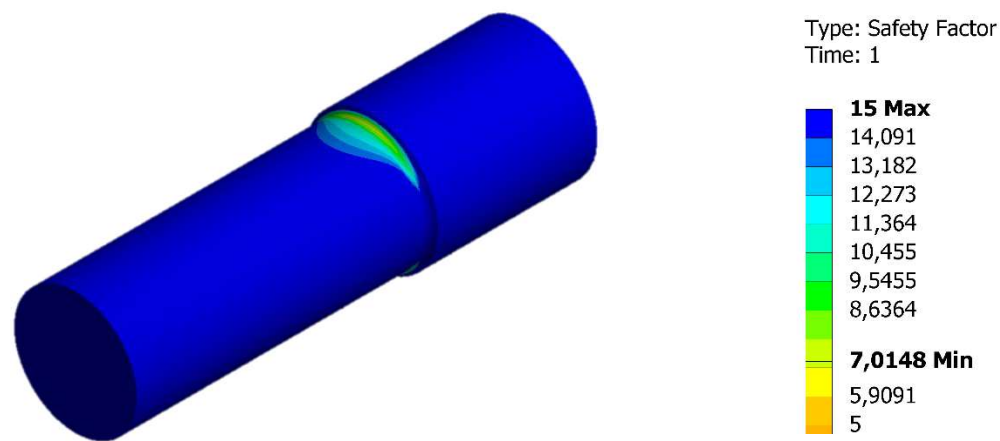
5.4.4.2 Esfuerzo. Este cuenta con un esfuerzo máximo de 59,87 MPa (ver Figura 79)

Figura 79. Esfuerzo extrusión



5.4.4.3 Factor de seguridad. Este cuenta con un factor de seguridad de 7,01 (ver Figura 80).

Figura 80. Factor de seguridad extrusión



Fuente: AUTOR

CONCLUSIONES

En el proyecto se implementó el diseño de un bastidor basado en una configuración tipo "H", que permite soportar grandes solicitudes de carga, facilitando el acceso a los elementos y subsistemas que lo conformaran contando con la facilidad de diseño que permita resguardar los componentes aeronáuticos.

Se trabajó con el motor PW308C del avión Falcon2000S al momento de realizar el dimensionamiento inicial del bastidor para su posterior diseño, ya que este cuenta con el método de sujeción más complejo, es el más pesado entre los diferentes componentes y presenta las mayores medidas longitudinales.

Se hace una distribución simétrica por medio de módulos que permiten asignar los diferentes subsistemas, eliminando cargas parasitas que se pueden generar en momentos de aceleraciones o desaceleraciones del sistema de transporte terrestre.

Se seleccionó un tipo de chapa metálica en U que permite la generación de áreas de contacto para sostener la carga a lo largo del bastidor, junto con la posibilidad de obtener paredes que protejan los elementos que conforman al sistema de transporte terrestre

Se hacen las configuraciones apropiadas que permitan la comunicación y suministro entre los diferentes elementos ya sea de control, potencia, tracción, entre otros, sin que afecten la integridad de la estructura metálica, se genere ninguna interferencia entre estos y cuente con el espacio suficiente de trabajo al momento de realizar el ensamblaje o cualquier tipo de mantenimiento.

Se definieron los parámetros de carga estática más críticas para el sistema de transporte terrestre, estas fueron dispuestas frente a la herramienta tecnológica seleccionada (ANSYS) y su metodología de análisis de elementos finitos.

Se realizó el análisis de independencia de malla por medio del cual se garantizó la convergencia del esfuerzo contra el tamaño del elemento, permitiendo reducir el consumo computacional y unos resultados apropiados.

Se obtuvieron resultados positivos en cada una de las simulaciones realizadas en donde se obtuvieron factores de seguridad por encima de 1 con solicitudes de carga críticas.

Uno de los elementos más críticos al momento de realizar el análisis estático fue el eje superior del amortiguador esto debido a su configuración en voladizo lo cual generó un factor de seguridad cercano a uno.

APORTES

Se propuso una metodología permite distribuir de una manera más uniforme los espacios, permitiendo contar con las formas de sujeción necesarias para cada uno de los elementos que conforman al sistema de transporte terrestre.

Se diseñaron componentes adicionales que permiten conservar la forma y aumentar la rigidez del bastidor, que proporcionan soporte a las cargas generadas por los componentes aeronáuticos y el peso propio, como lo fue el bloque de apoyo diseñado para las cargas dispuestas directamente sobre el bastidor y la C de apoyo para las sostener el sistema de elevación encargado de mantener y posicionar los componentes aeronáuticos

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un nuevo estudio con el bastidor perimetral ya que al momento de realizar la matriz de decisión la diferencia con respecto al bastidor tipo H era mínima y contaba con un mejor comportamiento frente a las cargas torsionales.

Se sugiere realizar el diseño del bastidor con otro tipo de conformado diferente al de la chapa metálica y analizar su comportamiento, con el fin de seleccionar otro tipo de material o mejorar el diseño final.

Se recomienda hacer un sistema de apoyo que permita cambiar la configuración del eje superior del amortiguador de tal manera que se elimine su configuración en voladizo con el fin de conservar su integridad estructural y que no sea expuesto a la solicitud de carga actual

Realizar un análisis estático al sistema de acople principal, que permita corroborar su funcionalidad y resistencia al momento de soportar las cargas estáticas generadas por los componentes aeronáuticos, las cargas torsionales generadas por el servomotor y los diferentes movimientos otorgados por la rueda Mecanum.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. ZINS, "Factory Futures," 2016. [Online]. Available: <http://factory-futures.univ-lorraine.fr/contact/>.
- [2] C. F. NARVÁEZ M., "Modelado y estudio mecánico de un bastidor tipo escalera de un vehículo eléctrico utilitario," Universidad Tecnológica de Pereira, 2017.
- [3] S. Kunwor, "Chassis frame design of a mobile platform equipped with robotic arms," Lappeenranta University of Technology, 2015.
- [4] J. Reimpell, H. Stoll, and J. W. Betzler, "The automotive chassis engineering principles: chassis and vehicle overall, wheel suspensions and types of drive, axle kinematics and elastokinematics, steering, springing, tyres, construction and calculations advice.," p. 456, 2001.
- [5] R. L. Norton, *Design of Machinery*, Second edi., vol. 125, no. 3. New Jersey: Pearson Education Inc., 2003.
- [6] Y. WENDLER, Christian. MAIER, Frank. SCHMIDT, "MCS synchronous servo motors - Lenze in the United Kingdom. As easy as that." [Online]. Available: <http://www.lenze.com/en-gb/products/motors/servo-motors/mcs-synchronous-servo-motors/>. [Accessed: 02-Nov-2017].
- [7] EV WEST, "Tesla Smart Lithium Ion 18650 EV Module." [Online]. Available: http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=4&products_id=329. [Accessed: 02-Nov-2017].
- [8] G. Berdichevsky, K. Kelty, J. Straubel, and E. Toomre, "The Tesla Roadster Battery System Tesla Motors," 2007. [Online]. Available: <http://large.stanford.edu/publications/power/references/docs/tesla.pdf>. [Accessed: 02-Nov-2017].
- [9] F. Adăscăliței and I. Doroftei, "Practical Applications for Mobile Robots based on Mecanum Wheels - a Systematic Survey," *Proc. Int. Conf. Innov. Recent Trends Challenges Mechatronics, Mech. Eng. New High-Tech Prod. Dev. – MECAHITECH'11*, vol. 3, no. 40, pp. 112–123, 2011.
- [10] J. Aracil and F. Gordillo, *Dinámica de Sistemas*, Ilustrada. 1997.
- [11] S. Bravo, M. E. Rodríguez, L. M. Palacios, and E. O. Ávila, "Localización del factor k en el proceso de doblado," *Memorias Del Xix Congr. Int. Anu. La Somim*, pp. 328–333, 2013.
- [12] J. E. Pérez Vaca, "Elementos estructurales del vehículo," pp. 6–35, 2011.
- [13] A. Agrawal, "Performance Improvement of Automotive Suspension Systems using Inerters and an Adaptive Controller," university of Waterloo, 2013.
- [14] MONROE, "Catalogo Monroe Magnum," 2013. [Online]. Available: http://www.monroecatalogue.eu/files/M306_Magnum_Catalogue_2013/#.

- [Accessed: 07-Nov-2017].
- [15] RESCO, "RESCO Shocks & Struts." [Online]. Available: <http://www.rescoshocks.com/index.php?vi=products>. [Accessed: 03-Nov-2017].
 - [16] SKF, "Grupo SKF - Rodamientos y unidades Soluciones de lubricación Mecatrónica Obturaciones Servicios Monitorización de estado Movimiento lineal - SKF.com," 2017. [Online]. Available: <http://www.skf.com/co/index.html>. [Accessed: 08-Nov-2017].
 - [17] M. Cao and J. Xiao, "A comprehensive dynamic model of double-row spherical roller bearing—Model development and case studies on surface defects, preloads, and radial clearance," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 22, no. 2, pp. 467–489, Feb. 2008.
 - [18] L. Mohammed Ahmed Bafail Al-Amoudi Co, "Bafail," 2017. [Online]. Available: <http://bafail.net/>. [Accessed: 06-Dec-2017].
 - [19] Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, "Software de diseño CAD en 3D | SOLIDWORKS." Vélizy-Villacoublay.
 - [20] I. ANSYS, "Engineering Simulation & 3-D Design Software | ANSYS." Delaware, USA, 2016.
 - [21] R. L. Mott and R. Navarro Salas, *Resistencia de Materiales*. Pearson, 2009.
 - [22] S. Mil-hdbk, "Handbook Metallic Materials and Elements for aerospace vehicle structures," *October*, no. January, pp. 8–106, 8–109, 2003.
 - [23] Granta Design LTDA, "CES EduPack." Cambridge, Inglaterra, 2013.

ANEXO A Memorias de calculo

Por medio de la carga critica determinada por el grupo de trabajo Factory Futures se realiza un análisis estático en el acople principal (ver Figura A1), determinando las reacciones correspondientes para el punto A y el punto B.

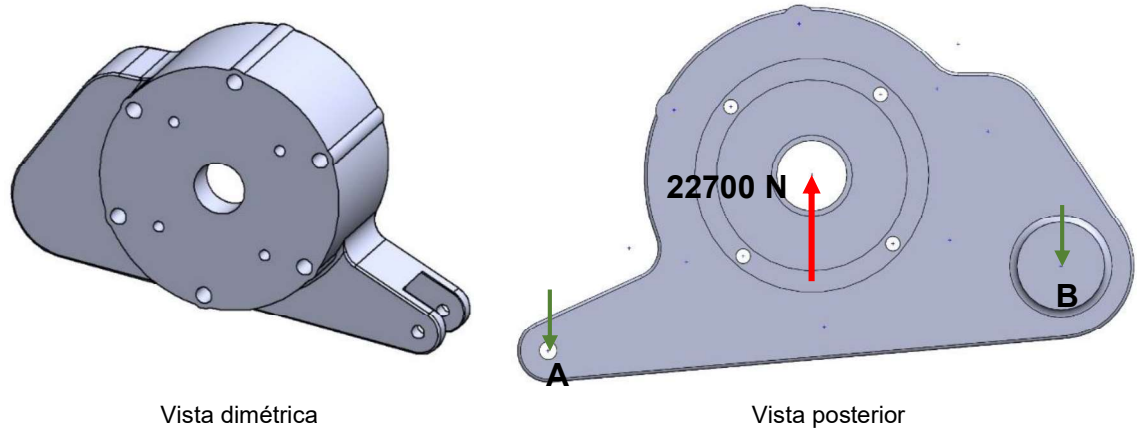


Figura A1 Acople principal

$$Lab = 354.77mm$$

$$F = 22700N$$

Se traslada la fuerza a la línea AB, se toman medidas y se procede con el análisis (ver Figura A2).

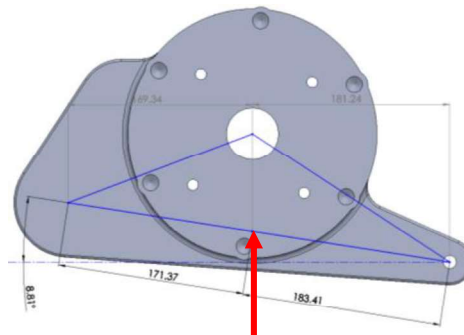


Figura A2. Distribución acople principal

$$\sum_B^{+\circlearrowleft} M = 0$$

$$F * 169.34mm - R_A * (181.24mm + 169.34mm) = 0$$

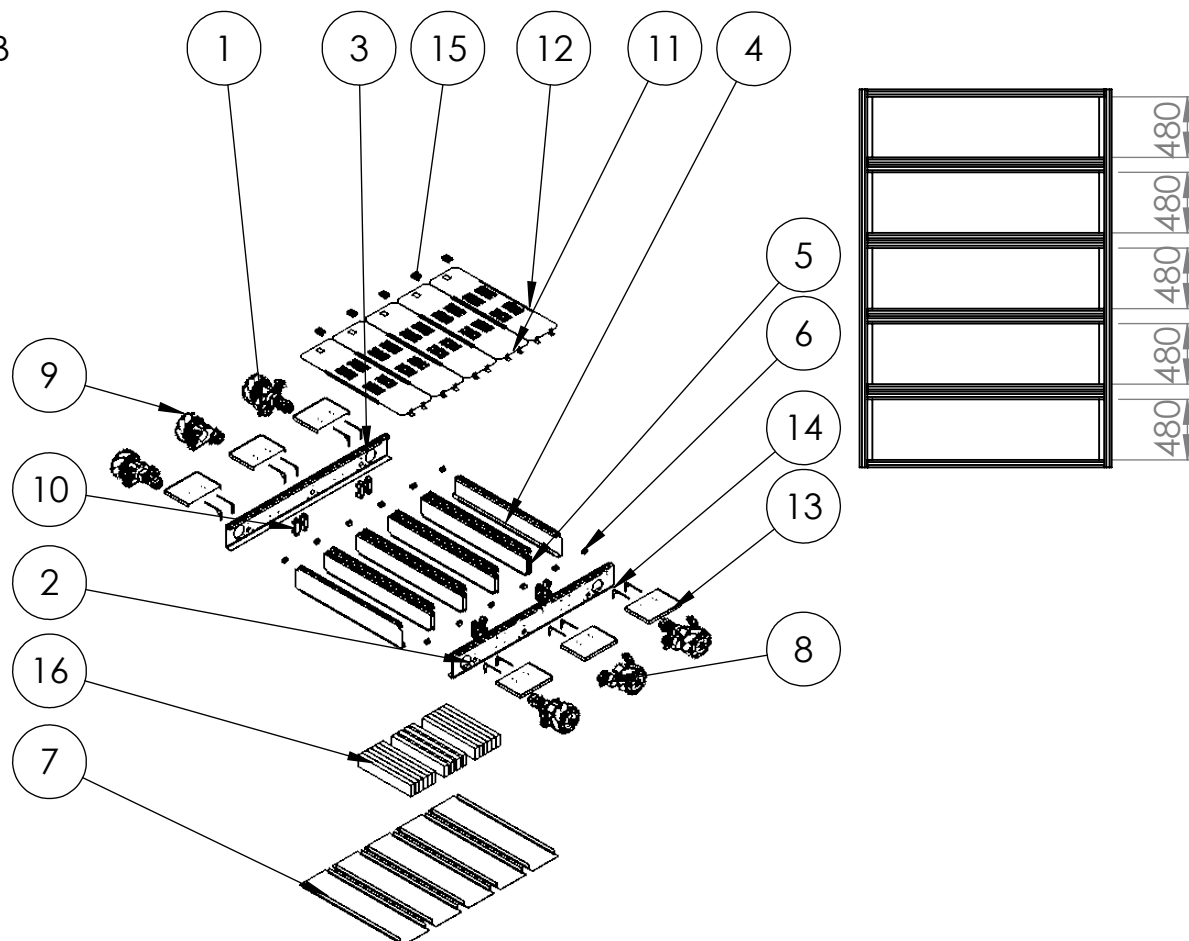
$$R_A = 10964.72 N$$

$$\sum_y^{+\uparrow} F = 0$$

$$F - R_A - R_B = 0$$

$$R_B = 11735.27 N$$

ANEXO B

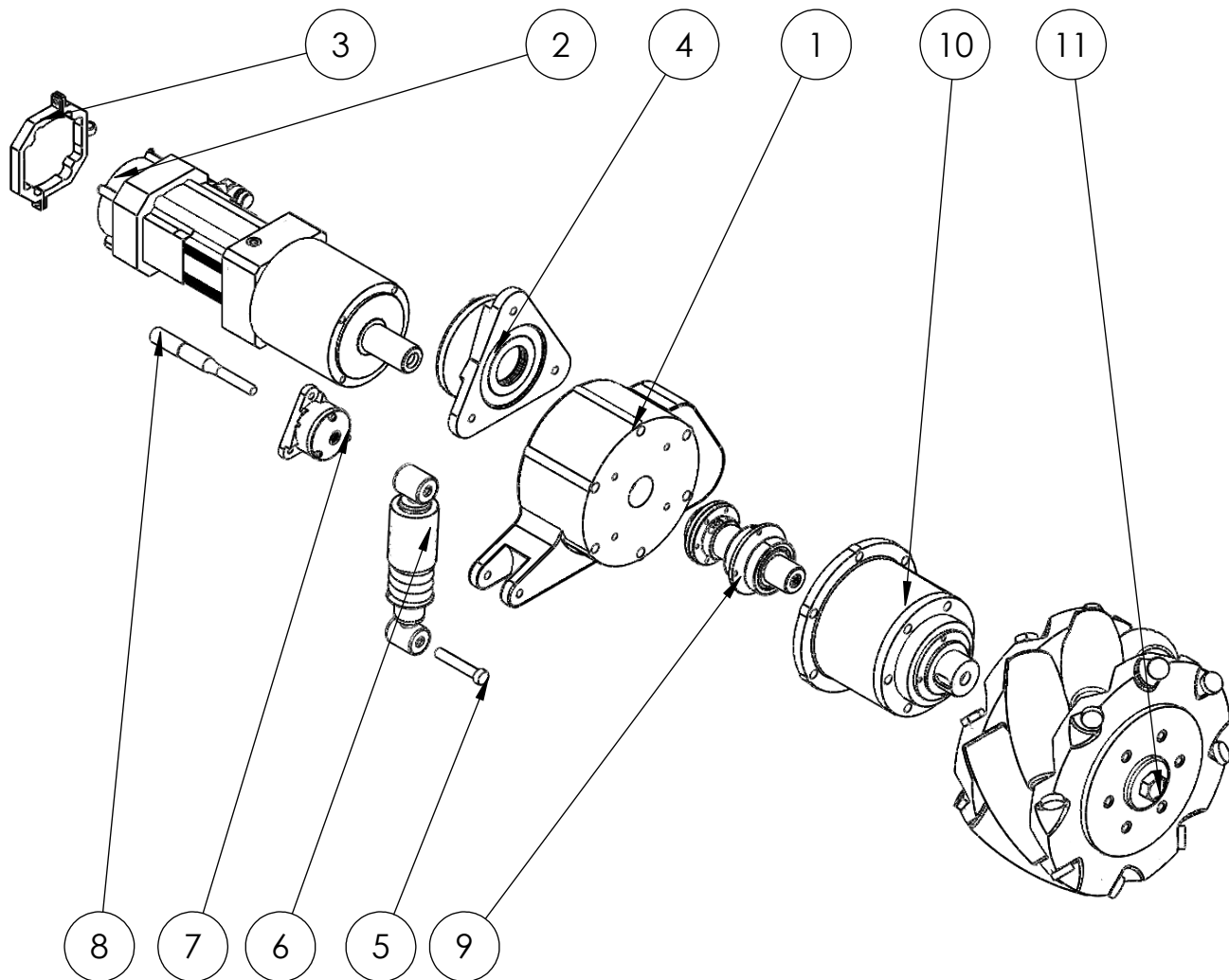


Pieza	Nombre Documento	Cantidad	Plano
1	Subsistema de suspension, potencia y rueda Mecanum	6	A2
2	Larguero Izquierdo	1	1
3	Larguero Derecho	1	2
4	Frontales	6	3
5	Travesaño Secundario	4	4
6	Bloque de Apoyo	12	5
7	Soporte para Bateria	5	6
8	Eje inferior Amortiguador	6	7
9	Eje Superior Amortiguador	6	8
10	"C" de apoyo	8	9
11	Cubierta Superior	4	10
12	Cubierta Superior Final	1	11
13	Guarda Barro	6	12
14	Angulo de Apoyo	12	13
15	Chapa de seguridad	5	N/A
16	Bateria Tesla	16	N/A

ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: A1	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:60	Nombre Pieza: Chasis Sistema Transporte Terrestre		

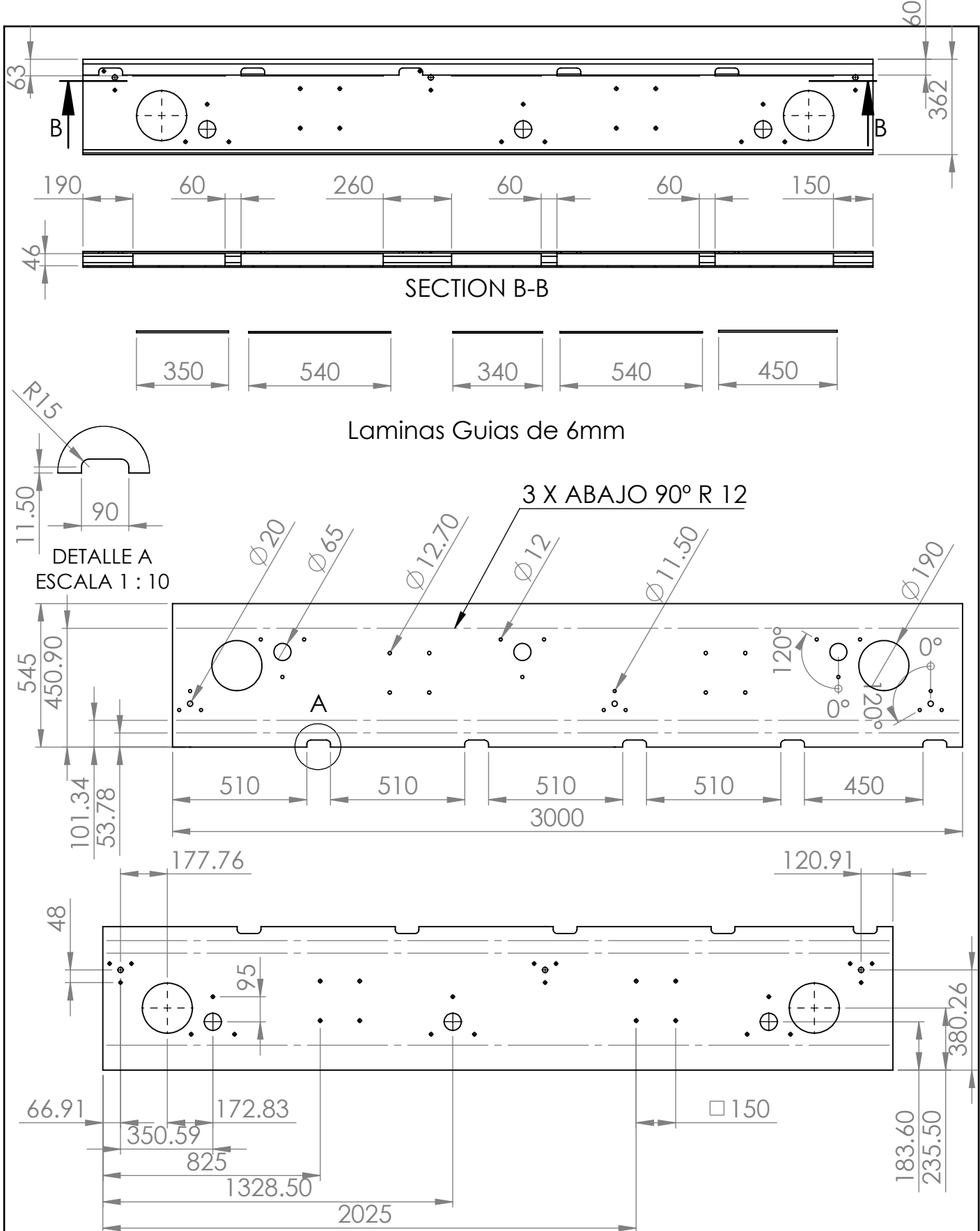


Numero	Nombre Pieza	Cantidad
1	Acople principal	1
2	Motor Lenze	1
3	Anillo de sujecion	1
4	Chumacera FNL 513 B	1
5	Eje inferior amortiguador	1
6	Amortiguador Monroe	1
7	Chumacera FNL 505 B	1
8	Eje superior amortiguador	1
9	Eje transmision de potencia	1
10	Soporte rueda Mecanum	1
11	Rueda Mecanum	1

ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



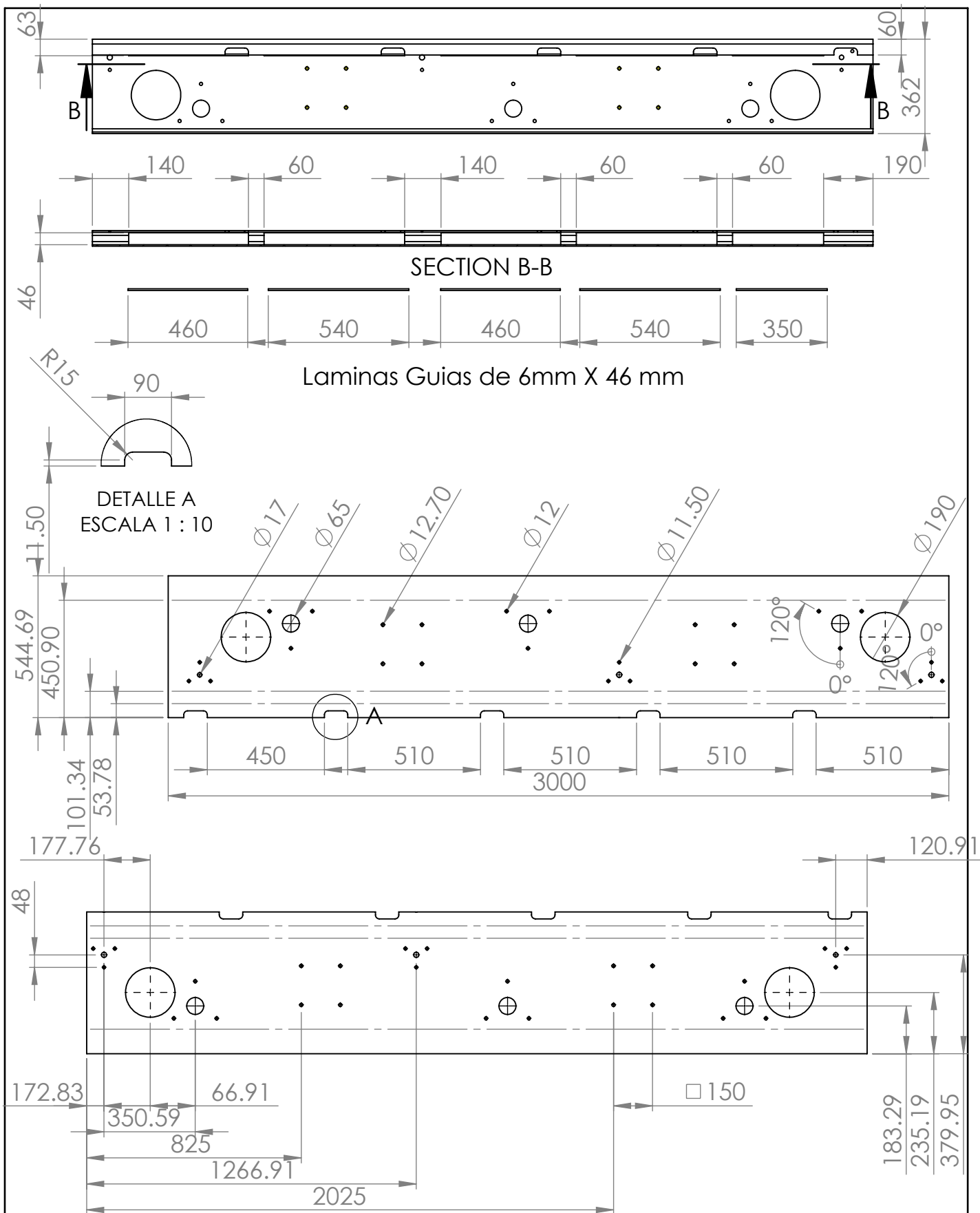
Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: A2	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:50	Nombre Pieza: Subsistema de suspension, potencia y rueda Mecanum		



ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



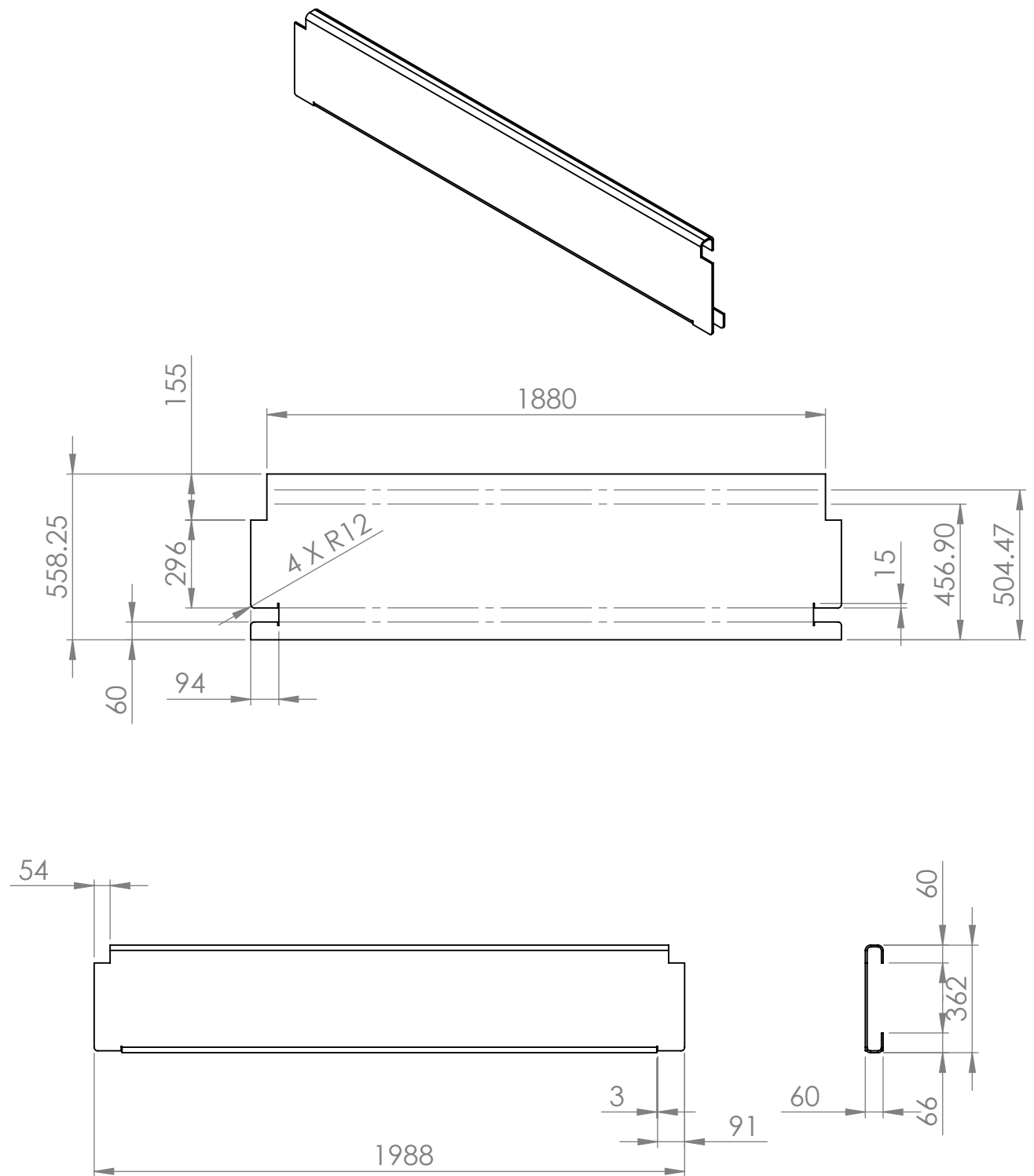
Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 1	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:20	Nombre Pieza: Larguero Izquierdo	Material: Aluminio 6061-T6	



ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



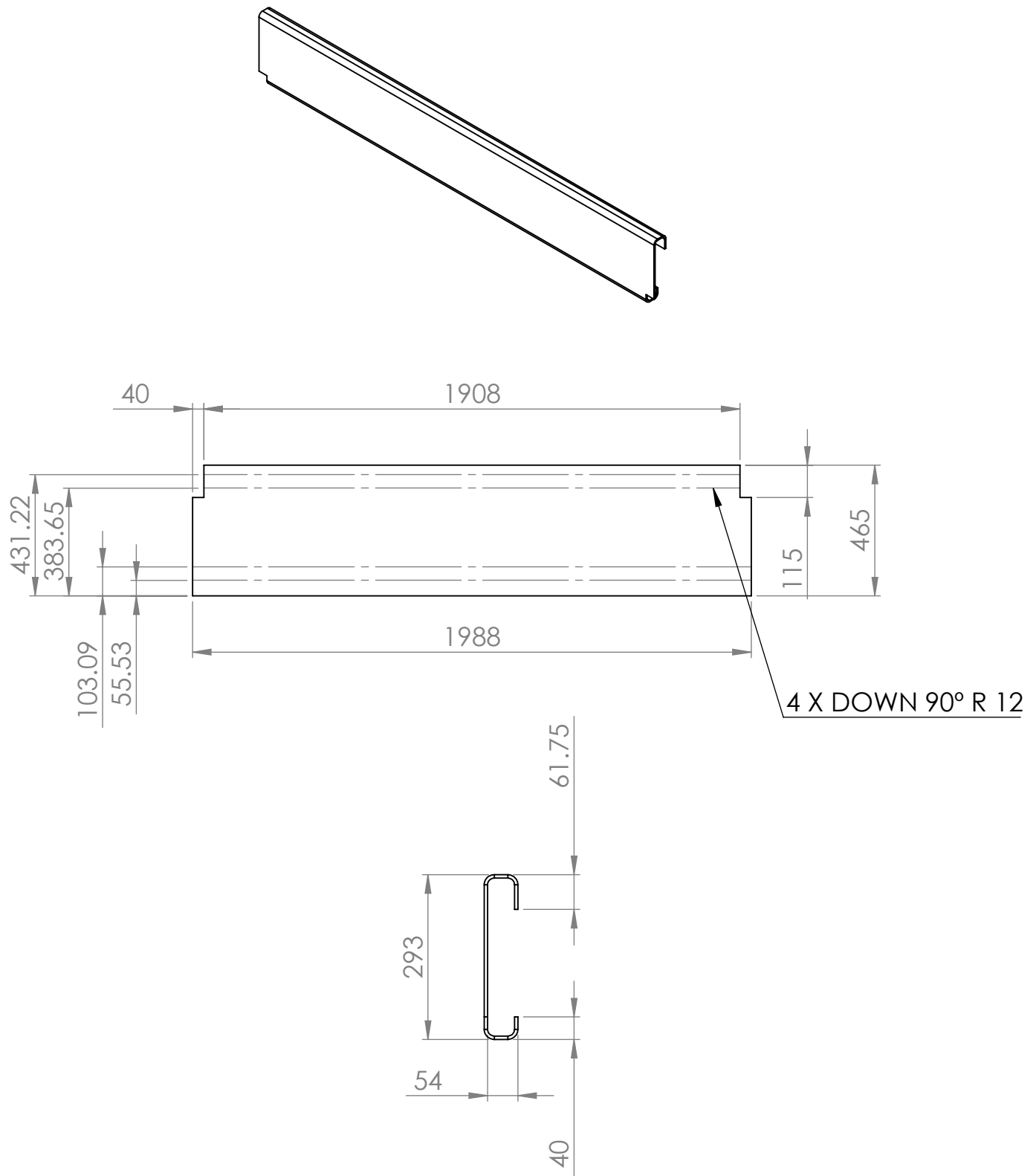
Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 2	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:20	Nombre Pieza: Larguero Derecho	Material: Aluminio 6061-T6	



ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



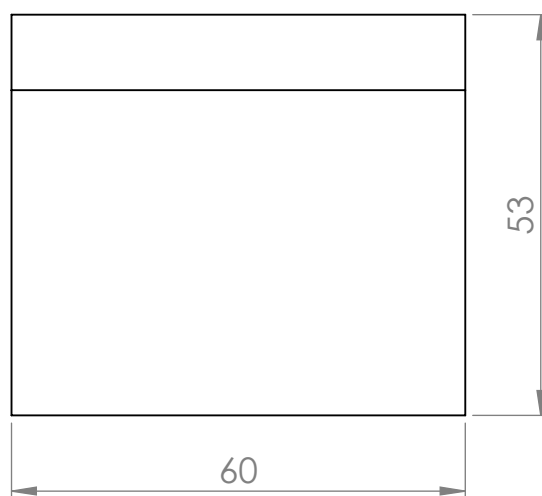
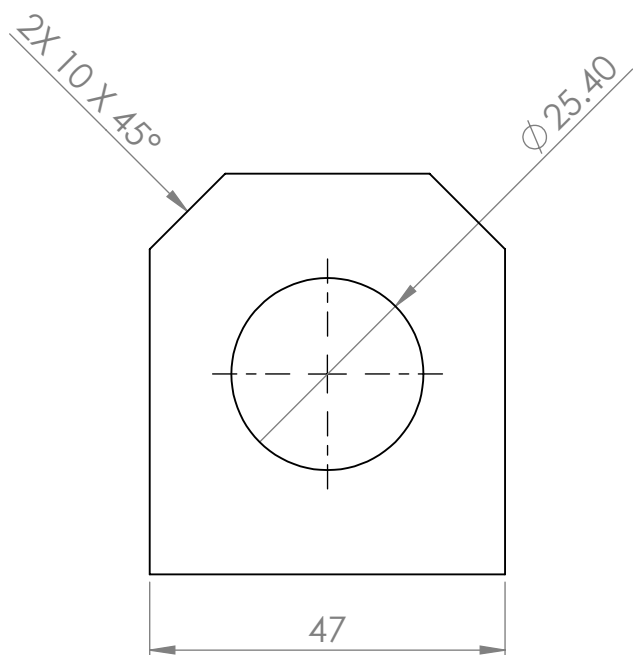
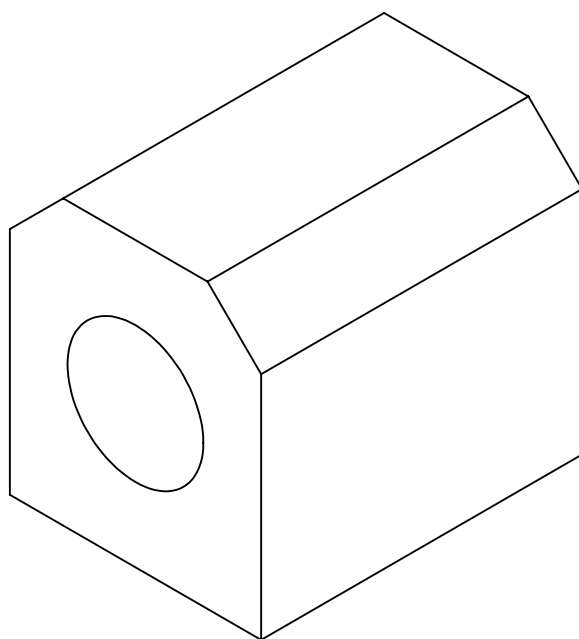
Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 3	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:20	Nombre Pieza: Frontales	Material: Aluminio 6061-T6	



ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO

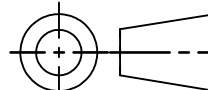


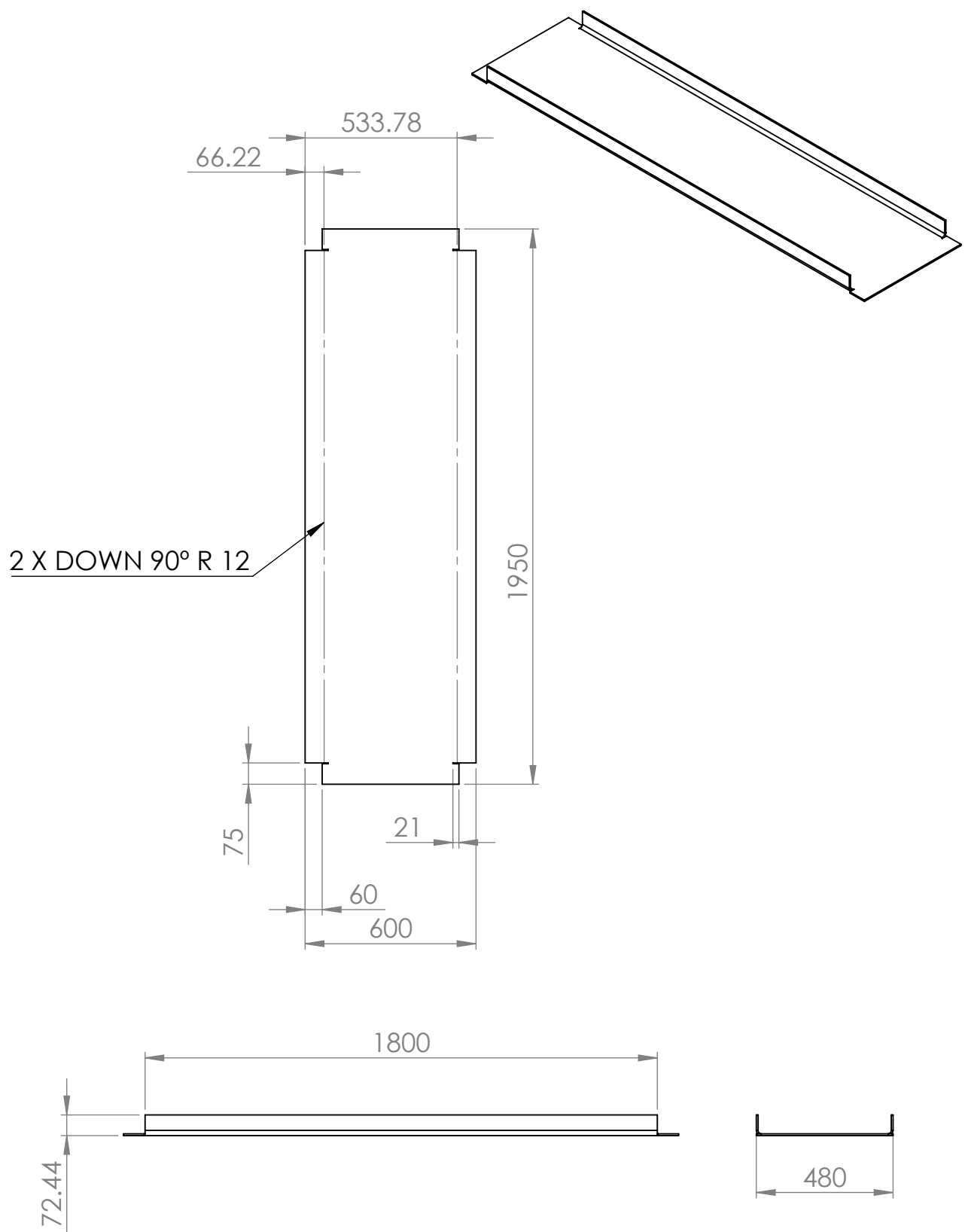
Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 4	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:20	Nombre Pieza: Travesaño Secundario	Material: Aluminio 6061-T6	



ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



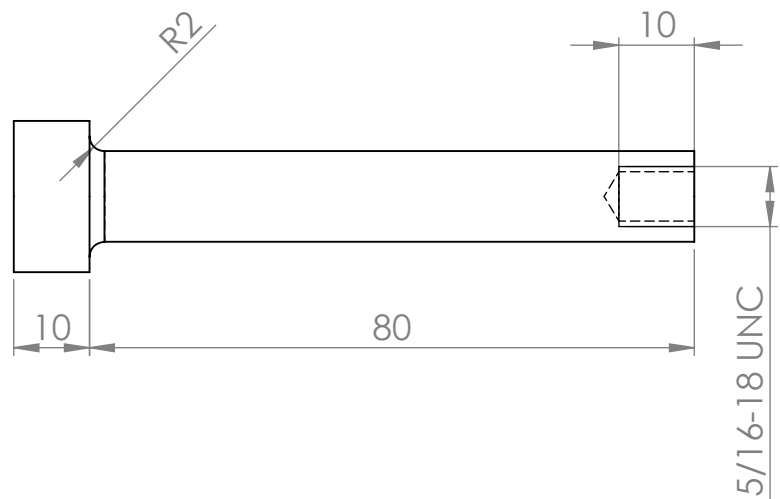
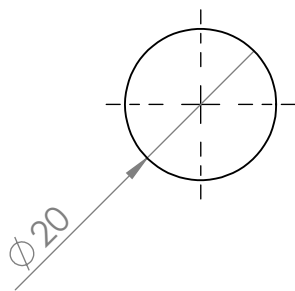
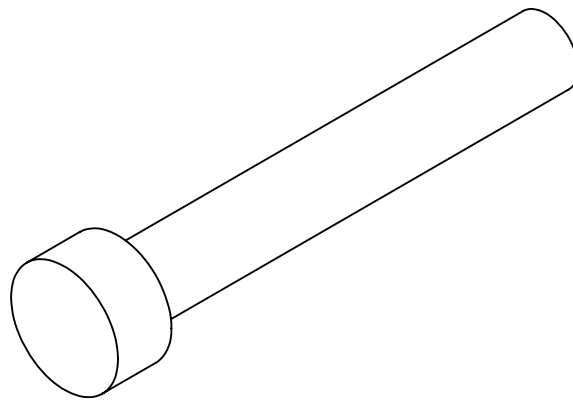
Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 5	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:1	Nombre Pieza: Bloque de Apoyo	Material: Aluminio 6061-T6	



ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE
TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



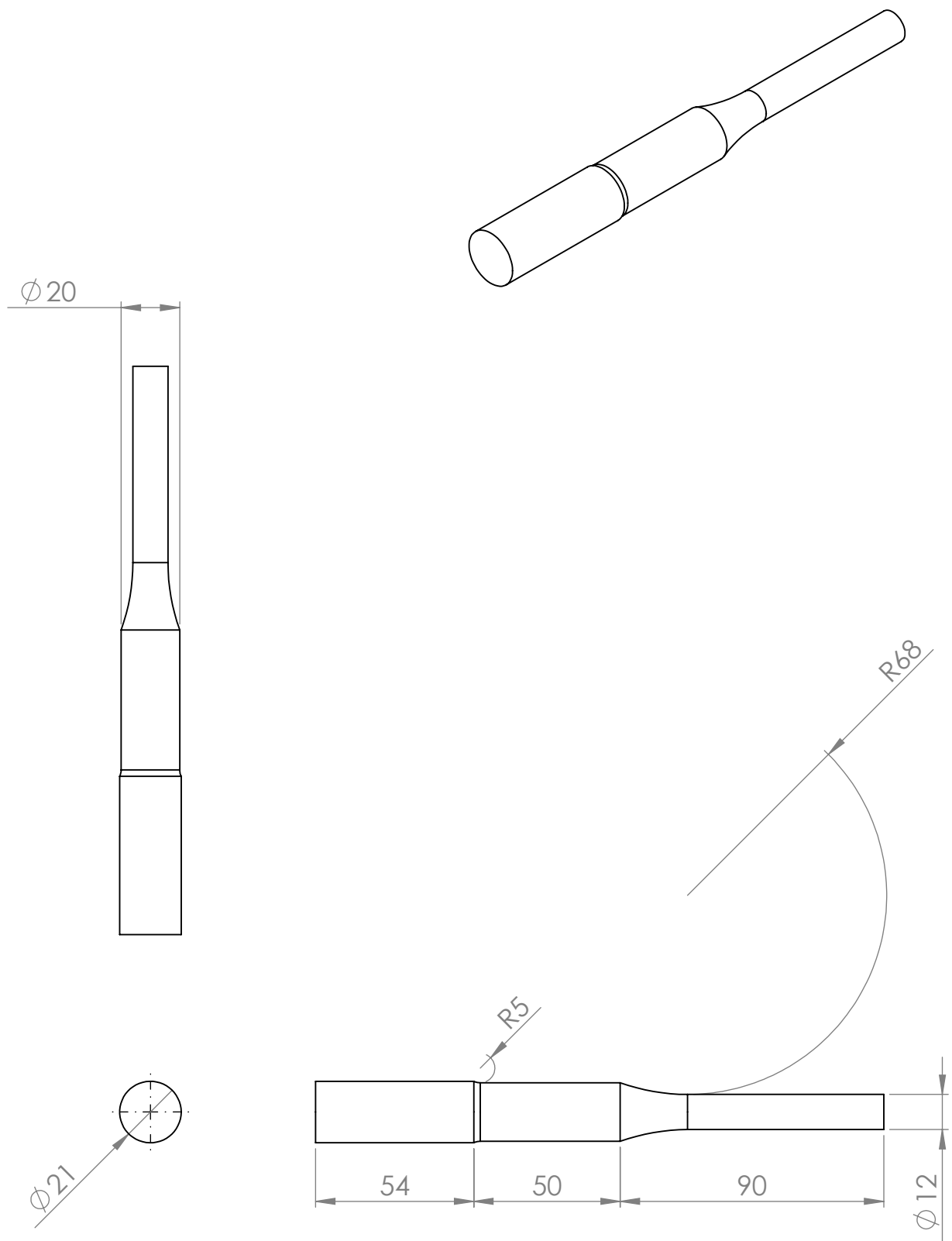
Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 6	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:50	Nombre Pieza: Soporte Bateria	Material: Aluminio 6061-T6	



ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



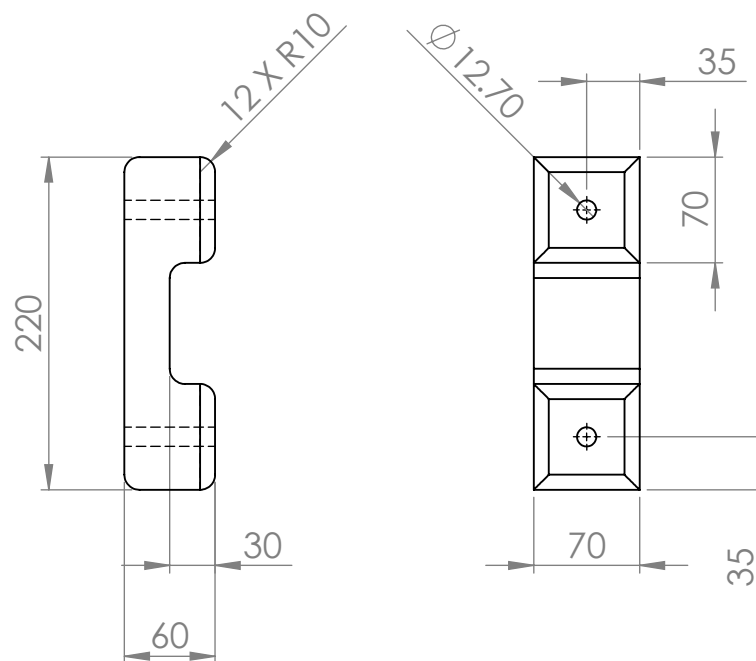
Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 7	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:1	Nombre Pieza: Eje Inferior Amortiguador	Material: AISI SAE 4340 recocido	




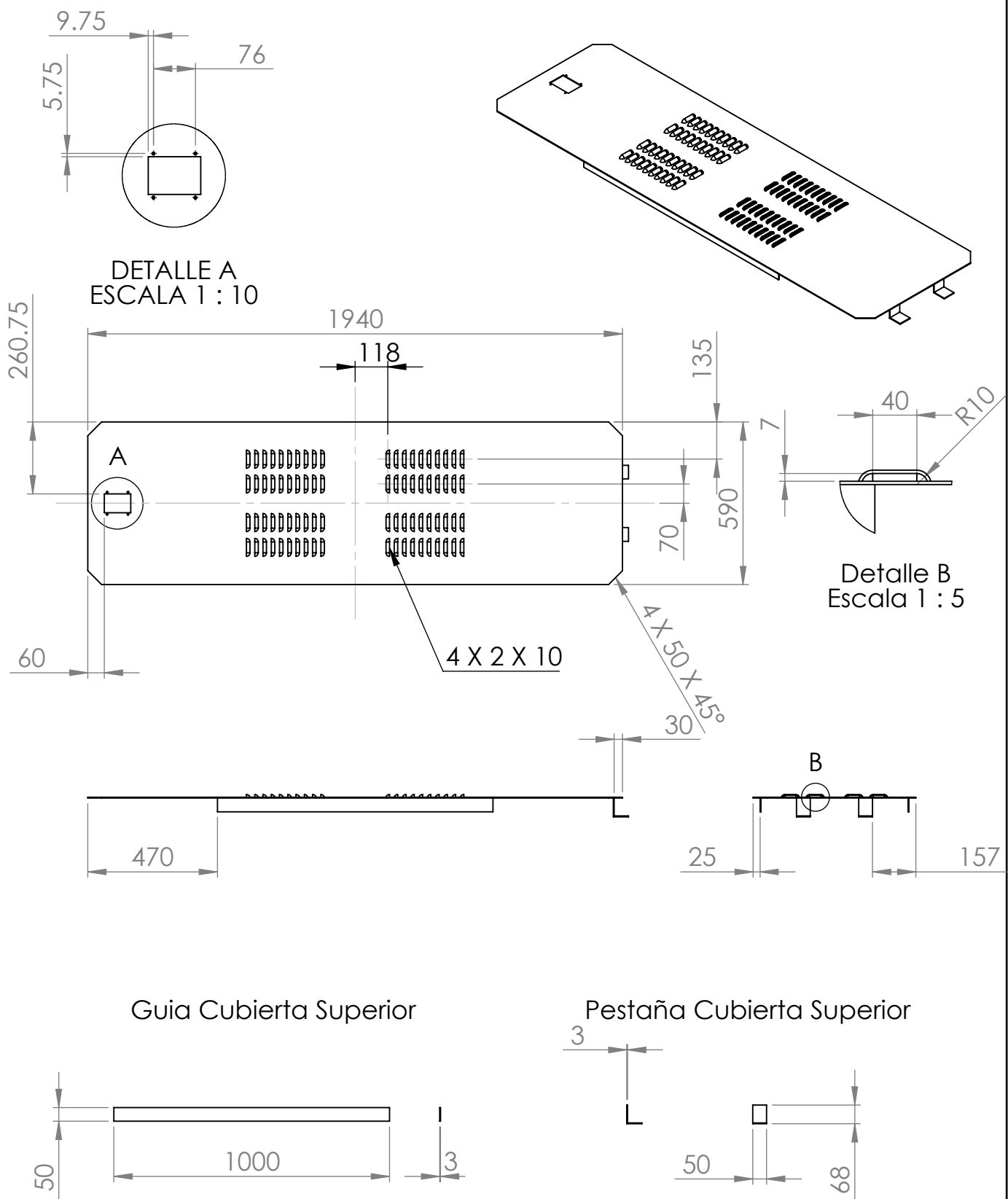
ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 8	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:2	Nombre Pieza: Eje Superior Amortiguador	Material: AISI 6150 templado a 205 ° C	



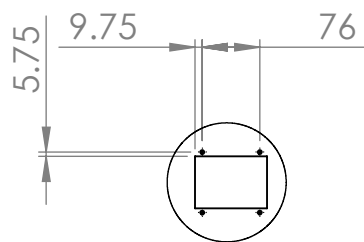
Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 9	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:2	Nombre Pieza: "C" de apoyo	Material: Aluminio 6061-T6	



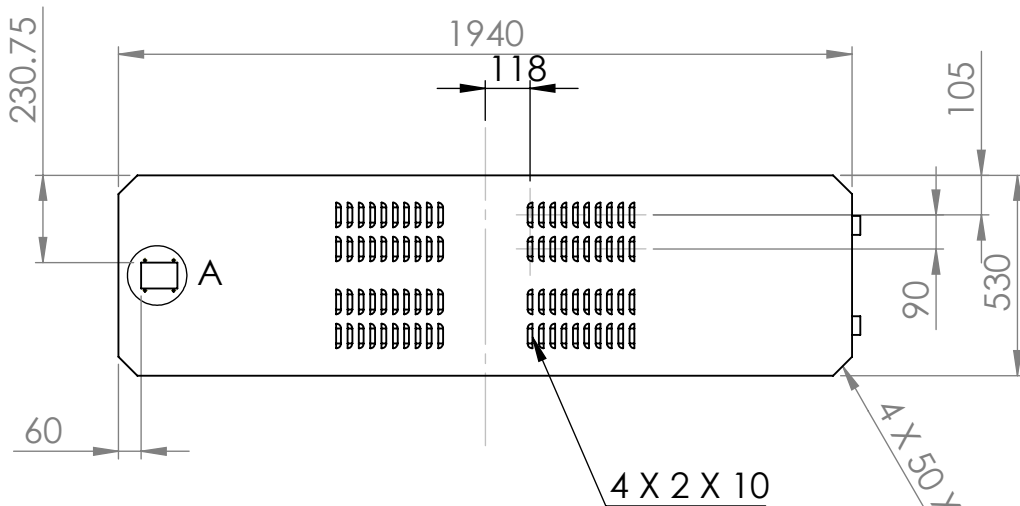
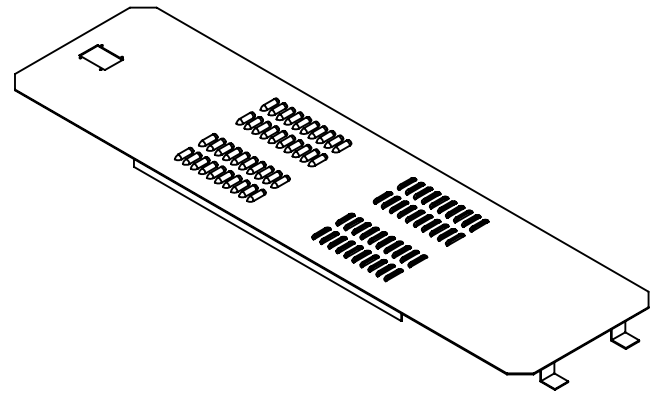
ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE
TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



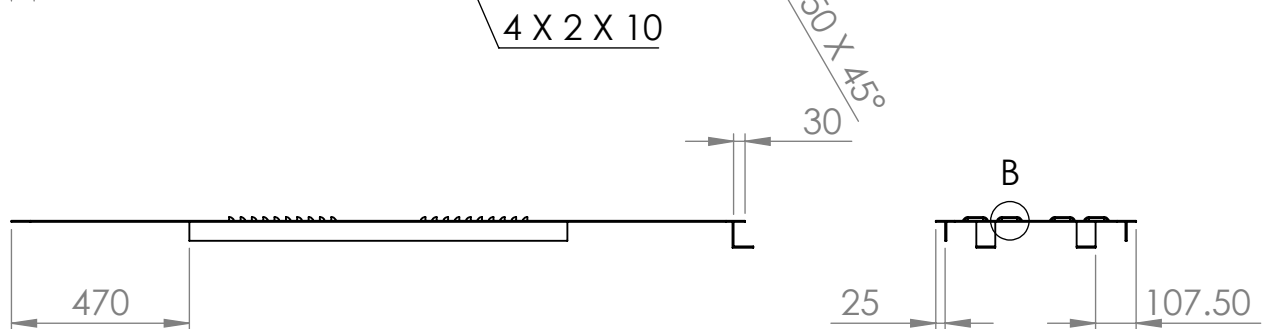
Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 10	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:20	Nombre Pieza: Cubierta Superior	Material: Aluminio 6061-T6	



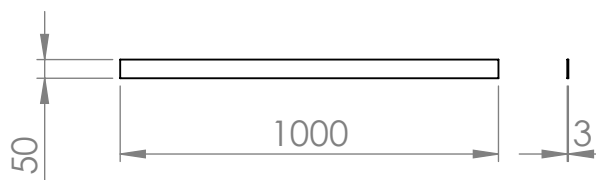
DETALLE A
ESCALA 1 : 10



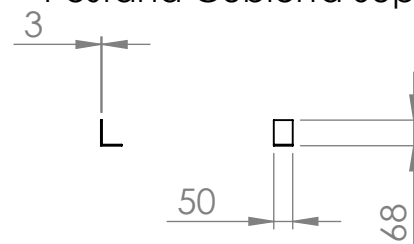
Detalle B
Escala 1 : 5



Guia Cubierta Superior



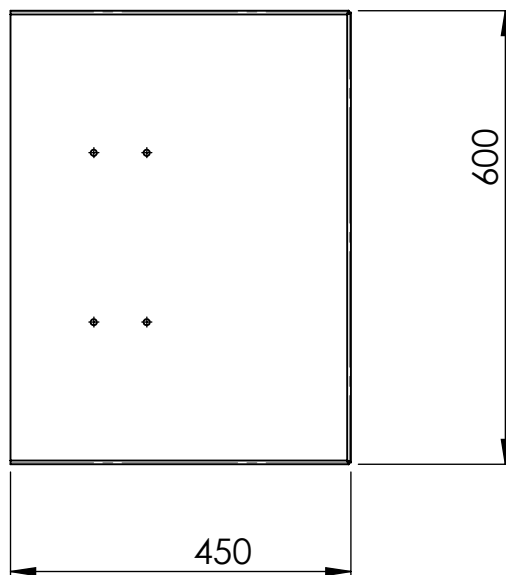
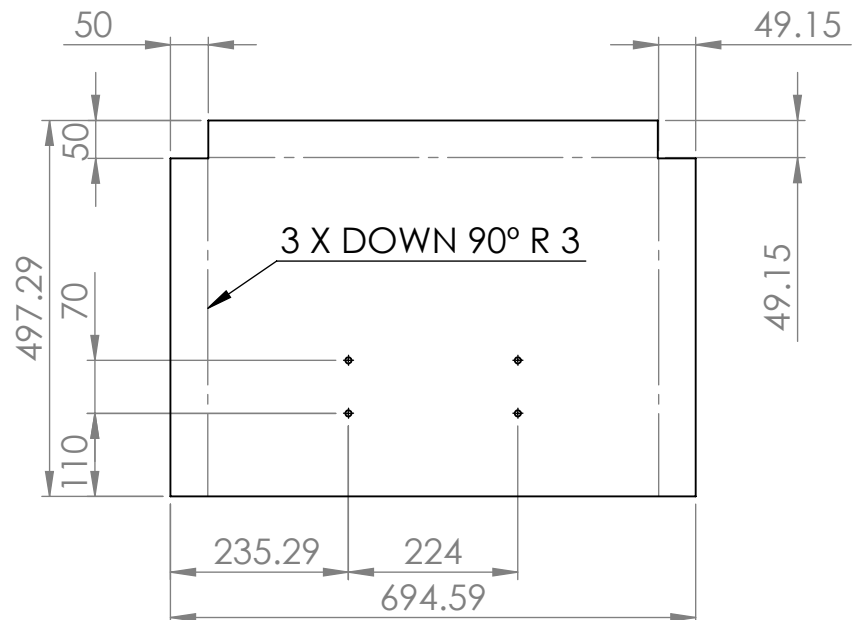
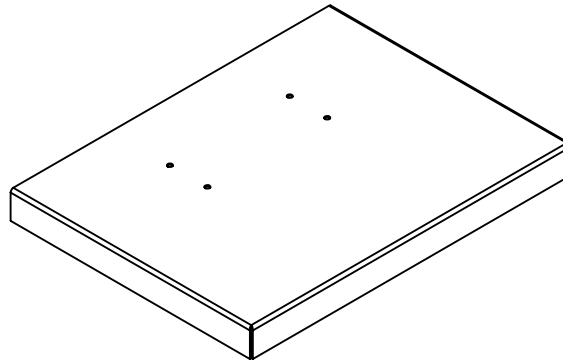
Pestaña Cubierta Superior



ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE
TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



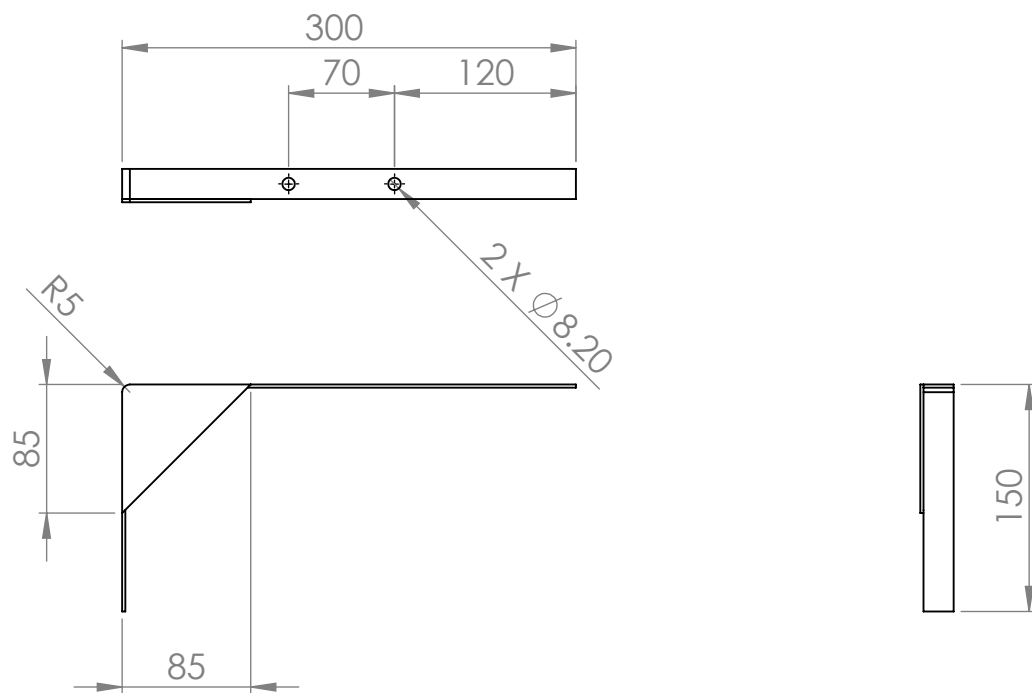
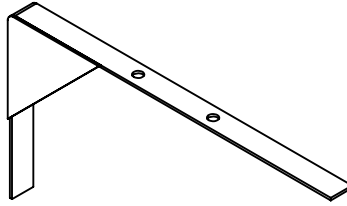
Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 11	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:20	Nombre Pieza: Cubierta Superior Final	Material: Aluminio 6061-T6	



ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 12	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:10	Nombre Pieza: Guarda Barro	Material: Aluminio 6061-T6	



ESTUDIO Y DISEÑO MECÁNICO DE UN CHASIS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE PARA LÍNEAS DE ENSAMBLE AERONÁUTICO



Unidades: mm	Realizó: CESAR AUGUSTO CELIS MARIN	Plano: 13	Fecha: 26/11/2017
ESCALA: 1:5	Nombre Pieza: Angulo de Apoyo	Material: AISI 4340 Recocido	